

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-191162  
(43)Date of publication of application : 23.07.1996

(51)Int.CI.

H01L 51/00  
C08G 61/12  
H01L 29/78  
H01L 21/336  
H01L 29/786  
// C08F120/42

(21)Application number : 07-001237

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 09.01.1995

(72)Inventor : WARATANI KATSUNORI  
HOTTA OSAMU

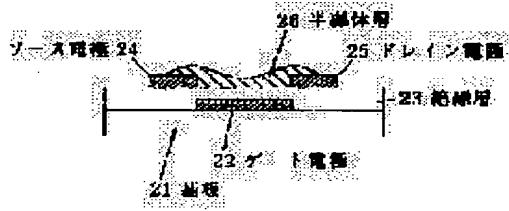
## (54) FIELD-EFFECT TRANSISTOR

### (57)Abstract:

PURPOSE: To set a field-effect transistor equal to or higher than amorphous silicon in mobility by a method wherein a channel section is formed of organic semiconductor material, and a gate insulating layer is formed of insulating polymer having cyano groups.

CONSTITUTION: A gate electrode 22 and a gate insulating layer 23 which includes insulating polymer having cyano groups are successively formed on a substrate 21, and a source electrode 24 and a drain electrode 25 are formed thereon. An organic semiconductor layer 26 is provided so as to bridge a gap between the source electrode 24 and the drain electrode coming into contact with the gate insulating layer 23. At this point, a metal electrode, an ITO electrode or a high-doped conductive polymer electrode is used as the gate electrode 22.

Polyacrylonitrile or cyanoethyl purlan is mainly used as polymer having cyano groups. The above organic semiconductor is formed of dimethyl-sexithiophene, quartathyophene, and lead phthalocyanine.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-191162

(43)公開日 平成8年(1996)7月23日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所  
H 01 L 51/00  
C 08 G 61/12 NL J  
H 01 L 29/78

H 01 L 29/ 28

29/ 78 3 0 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平7-1237

(22)出願日 平成7年(1995)1月9日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 菅谷 克則

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1  
号 松下技研株式会社内

(72)発明者 堀田 収

神奈川県川崎市多摩区東三田3丁目10番1  
号 松下技研株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛治 明 (外2名)

(54)【発明の名称】 電界効果トランジスタ

(57)【要約】

【目的】 有機半導体をチャネル部分に用いた電界効果トランジスタであって、有機半導体薄膜の高い移動度を実現する電界効果トランジスタを目的とする。

【構成】 本発明は、ゲート電極と、ソース電極と、ドレイン電極と、有機半導体材料で構成されたチャネル部と、シアノ基を有する絶縁性ポリマーで構成されたゲート絶縁層とを有する電界効果トランジスタであり、有機半導体薄膜中の移動度を向上させ、その結果大きなドレイン電流を得ることができる。

APP4-0125-02110-70
04.9.14
SEARCH REPORT

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ゲート電極と、ソース電極と、ドレイン電極と、有機半導体材料で構成されたチャネル部と、シアノ基を有する絶縁性ポリマーで構成されたゲート絶縁層とを有する電界効果トランジスタ。

【請求項 2】 有機半導体材料は、少なくとも 7 つの  $\pi$  電子共役結合を含む多共役有機化合物を用いた請求項 1 記載の電界効果トランジスタ。

【請求項 3】 有機半導体材料は、以下の化学式（化 1）から（化 6）のいずれかで示される化合物を用いた請求項 1 又は 2 記載の電界効果トランジスタ。

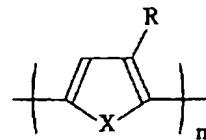
## 【化 1】



ただし、X は S, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> は H, アルキル基、アリール基、ハロゲン

n は正の整数

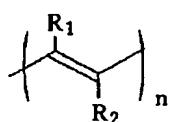


ただし、X は S, Se, Te, NH

R は H, アルキル基、アリール基、ハロゲン

n は正の整数

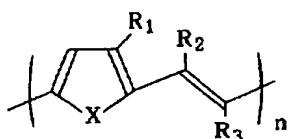
## 【化 3】



ただし、R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> は H, アルキル基、アリール基、ハロゲン

n は正の整数

## 【化 4】

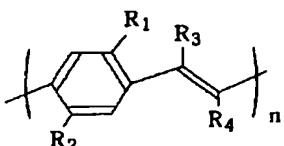


ただし、X は S, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> は H, アルキル基、アリール基、ハロゲン

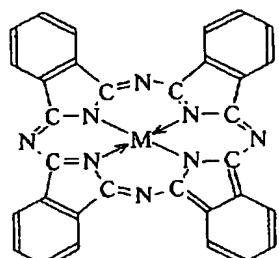
n は正の整数

## 【化 5】



ただし、R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> は H, アルキル基、アリール基、ハロゲン

## 【化 6】



ただし、M は 2 倍の金属

7) で示される  $\pi$  電子共役系が広がった化合物である請求項 1 から 3 のいずれか記載の電界効果トランジスタ。

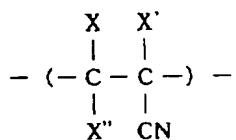
【化 7】  
R—(C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>S)<sub>n</sub>—R'

ただし R, R' は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

【請求項 5】 シアノ基を有する絶縁性ポリマーは、以下の化学式（化 8）から（化 11）のいずれかで示される化合物を用いた請求項 1 から 4 のいずれか記載の電界効果トランジスタ。

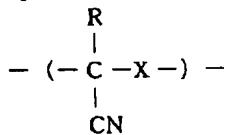
## 【化 8】

【請求項 4】 有機半導体材料は、以下の化学式（化



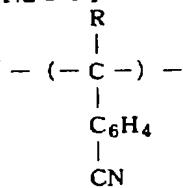
ただし X, X', X'' は H, アルキル基、フェニル基、ハロゲン

【化9】



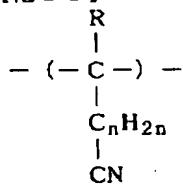
ただし X は O, S, Se, CH<sub>2</sub>, -C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-  
R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

【化10】



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

【化11】



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基  
n は正の整数

【請求項6】 シアノ基を有する絶縁性ポリマーは、ボリアクリロニトリルである請求項1から5のいずれか記載の電界効果トランジスタ。

【請求項7】 ゲート絶縁層がシリコン酸化膜とシアノ基を有する絶縁性ポリマーからなる複合膜であり、シアノ基をもつ絶縁性ポリマーがチャネル部と接する請求項1から6記載の電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、電界効果トランジスタに関し、特に有機半導体材料をチャネル層に用いた電界効果トランジスタに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、有機半導体をチャネル部分に用いた電界効果トランジスタ(FET)は、容易に大面積を得られディスプレイなどの駆動用として期待されている。

【0003】 この有機半導体には、以下に示すものが代表的に報告されている。例えば、ポリチオフェン(アブライド・フィジックス・レターズ誌: A. Tsumura et al., Appl. Phys. Lett., 49卷, 1210頁(1986年)に記載)、ポリピロ

ール、ポリチエニレンビニレン(渕上他「第53回応用物理学講演会」8pZ12(1992年)に記載)、ポリフェニレンビニレンなどの導電性高分子を十分に脱ドープした材料、可溶性のためにアルキル基またはメトキシ基などの修飾基が導入された導電性高分子、オリゴチオフェン(特開平4-133351号公報に記載)などのπ共役系の広がったオリゴマー材料、フタロシアニン類(特開平1-155658号公報に記載)、ニッケル・フタロシアニン(ケミカル・フィジックス・レターズ誌: G. Guillaud, J. Simon, Chem. Phys. Lett. 219卷, 123頁(1994年)に記載)、シリコンフタロシアニンの置換体(シン・ソリッド・フィルムズ誌: Y. L. Hua et al., Thin Solid Films, 192卷, 383頁(1990年)に記載)、ルテシウム・ジフタロシアニンについてはケミカル・フィジックス・レターズ誌: M. Madru, et al., Chem. Phys. Lett., 142卷, 103頁, (1987年)に記載)、テトラセン・ペンタセンなどの縮合π共役化合物(藻谷他、「第52回応用物理学講演会」、9pR9(1991年)に記載)、その電荷移動型錯体がしばし超伝導を示すドナー性分子であるBEDT-TTF(藻谷他、「第52回応用物理学講演会」、9pR9(1991年)に記載)などであり、多岐にわたっている。

【0004】 また、電界効果トランジスタ特性を向上させるためにいくつもの試みがなされている。

【0005】 例えば、十分にπ共役系の広がった有機半導体材料を用いること、有機半導体材料の薄膜の結晶性を向上させること、有機半導体材料にメチル基を導入することでドナー性を向上させてp型の半導体としての性質を向上させること、重合度のばらつきのある有機半導体ではなく単一の重合度のオリゴマーの有機半導体材料を用いることなどにより、電界効果トランジスタの性能を決める重要なパラメータであるキャリアの移動度の向上がはかられている。

【0006】 分子量分布のないジメチルオリゴチオフェンを用いた電界効果トランジスタ(特開平4-133351号公報に記載)は、そのような試みのひとつである。

【0007】 または、ポリチエニレンビニレンの前駆体からの変換効率を上げて重合度を向上させて移動度の向上を得る試みもなされ、0.2 cm<sup>2</sup>/Vsの移動度が得られている(渕上他「第53回応用物理学講演会」1

8 p Z 12 (1992年) に記載)。

【0008】また、有機半導体として、両末端をメチル基またはエチル基で置換した重合度3, 4, 5のオリゴチオフェンを、電界効果トランジスタに利用することも開示されている(特開平4-133351号公報に記載)。

【0009】また、ドナー性の高い有機半導体、すなわちイオン化ポテンシャルの小さい有機半導体をチャネル層に利用すると、高い電界移動度を得られることが、秋道斎『1991年度 創造科学推進事業 研究報告会要旨集』新技術事業団(1991年)に報告されており、π共役系を伸ばすこと、メチル基などのドナー性のある基を導入することが移動度の向上につながることを示している。

【0010】また、いくつかのホール輸送材料についても電界効果トランジスタが作製されて、その移動度が求められている。

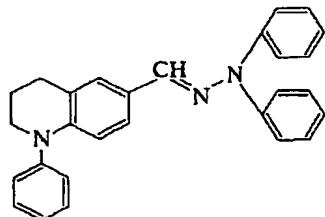
【0011】ちなみにホール輸送材料は、イオン化ポテンシャルが小さい、すなわちHOMO(最高被占分子軌道)の準位が浅い有機半導体材料、すなわち電子供与性のある材料であり、トリアリールアミン類、芳香族ヒドロゾン類、芳香族置換ピラゾリン類、スチルベン類などが知られている。

【0012】そのため、電界効果トランジスタ構造でゲート電圧を印加することによってもホールを生じやすくなることになる。

【0013】具体例をあげると、以下の化学式(化12)で示される1, 1-bis(p-diethylaminophenyl)-4, 4-diphenyl-1, 3-butadiene、(CAS登録番号109995-82-6、分子式C<sub>28</sub>H<sub>25</sub>N<sub>3</sub>)で1. 8×10<sup>-8</sup>cm<sup>2</sup>/Vsの移動度が得られている。

【0014】

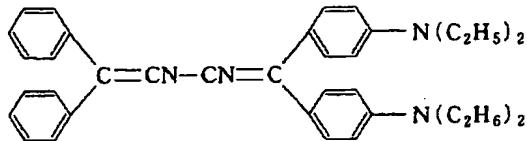
【化12】



【0015】また、以下の化学式(化13)で示される1-phenyl-1, 2, 3, 4-tetrahydronquinolin-6-carboxaldehyde-1', 1'-diphenylhydrazone、(CAS登録番号100070-43-7、分子式C<sub>36</sub>H<sub>40</sub>N<sub>2</sub>)で、2. 7×10<sup>-6</sup>cm<sup>2</sup>/Vsの移動度が得られている。

【0016】

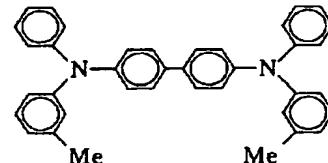
【化13】



【0017】また、以下の化学式(化14)で示されるN, N'-diphenyl-N, N'-bis(3-methylphenyl)-1, 1'-biphenyl-4, 4'-diamine、(TPDともいう、CAS登録番号65181-78-4)でも電界効果トランジスタが作られ、移動度が測定されている。

【0018】

【化14】

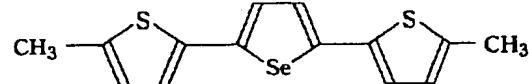


【0019】その他、チオフェン環の硫黄原子をセレン置き換えたセレノフェン類も、オリゴチオフェン類と同様に、電界効果トランジスタの動作を示すことが知られている。

【0020】また、ジメチルターチオフェンの中央のチオフェン環の硫黄原子を、セレンに置き換えた以下の化学式(化15)で示される分子構造でも電界効果トランジスタが動作している。

【0021】

【化15】



【0022】このことから、チオフェン環の硫黄原子をセレン、テルル原子に置き換えた分子でも、同様に電界効果トランジスタが動作することがわかる。

【0023】さて、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタの利点としては、スピンドル・電解重合などにより簡便なプロセスで大面積を作ることができること、無機の半導体と異なり柔らかい構造で曲げても大丈夫なこと、多くの有機半導体がガスに対して感受性がありセンサーとして用いることができること、有機半導体は骨格が異なるものも多くそのうえ修飾基を変えることで多種・多様の材料の中から設計が可能であること、有機半導体材料は蛍光を示すものが多く発光ダイオード(LED)の材料にもなることから組合せの相性のよさを有すること、などがあげられる。

【0024】例えば、ジメチルセクシチオフェンを発光層としたLEDも作製されている(内山潔、秋道斎、堀田収、野毛宏、榎裕之、第54回応用物理学会学術講演会(1993年), 29p-ZC-1)。

【0025】もちろん、これらの利点が発揮されるには、有機半導体の十分な移動度を確保できることが前提となる。

【0026】また、Garnier他は、ゲート絶縁層・チャネル層ともに有機物である電界効果トランジスタを作製している（アドバンスト・マテリアルズ誌：F. Garnier, G. Horowitz, X. Peng, D. Fichou, Adv. Mater., 2巻, 592頁（1990年））。

【0027】ここで、電界効果トランジスタのドレイン電流を大きくとるためには、ゲート絶縁層の単位面積当たりの電気容量が大きいのがよいために、高誘電率の絶縁性の高いポリマーをゲート絶縁層に用いている。

【0028】また、電界効果トランジスタ構造で測定するチャネル層の有機半導体の移動度は、ゲート絶縁層の材質によって変化することが報告されている。

【0029】例えば、Garnier他は、シアノエチルプルランをゲート絶縁層に使い、セクシチオフェンの蒸着膜の移動度が向上することを報告している（アドバンスト・マテリアルズ誌：F. Garnier, G. Horowitz, X. Peng, D. Fichou, Adv. Mater., 2巻, 592頁（1990年））。なお、特表平5-508745号公報にも同様の記載がある。

【0030】ここで用いているセクシチオフェンは、末端のチオフェン環の $\alpha$ 位が水素原子である無置換の6量体のオリゴチオフェンであり、シアノエチルプルランの比誘電率が $\epsilon = 18.5$ （10 kHzにて）と高いことが、界面近傍での有機半導体の移動度の向上を引き起こしていると推測している。

【0031】なお、このような努力にもかかわらず、シアノエチルプルランは、アセトンなどの溶媒に容易に溶けるため、シアノエチルプルランを製膜したあとは有機洗浄やリソグラフィー（これらは有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタを液晶表示デバイス駆動用の薄膜トランジスタとして用いる時に必要不可欠の条件である。）を、全く利用できないという短所があり、電界効果トランジスタを高密度で作ろうとするときに決定的な障害となっている。

【0032】そして、いずれの従来例においても、有機半導体薄膜の移動度がアモルファスシリコンと同等かまたはそれ以上になると、それに加え素子の耐環境性をあげることが重要な課題である。

【0033】以下に、従来の有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタについて説明する。

【0034】図2は、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタの構成例を示す断面図である。

【0035】図2において、21は基板となる絶縁体、22はゲート電極、23はゲート絶縁層、24はソース電極、25はドレイン電極、および26はチャネルとな

る有機半導体層である。

【0036】図3は、導電性の基板をゲート電極とした電界効果トランジスタの構成例を示す断面図である。

【0037】図3において、33はゲート絶縁層、34はソース電極、35はドレイン電極、36はチャネルとなる有機半導体層、および37は基板兼ゲート電極であり、高濃度ドープしたシリコン基板をゲート電極として用いるのはこの場合にあたる。

【0038】図4は、有機半導体がゲート電極よりも基板側にある素子構造を示す。図4において、41は基板となる絶縁体、42はゲート電極、43はゲート絶縁層、44はソース電極、45はドレイン電極、および46はチャネルとなる有機半導体層であり、基板41の上にソース電極44とドレイン電極45があり、有機半導体層46があって、その上にゲート絶縁層43、ゲート電極42と積層した構成である。

【0039】このような従来の素子構造では、ゲート絶縁層としてシリコン酸化膜、窒化シリコン膜、シアノエチルプルラン膜、ポリビニルアルコール膜、ポリ塩化ビニル膜、ポリメチルメタクリレート（PMMA）膜、ポリスチレン膜が用いられており、シアノエチルプルラン以下の例は、アブライド・フィジックス・レターズ誌（Peng et al., Appl. Phys. Lett., 57巻, 2013頁（1990年））、または特表平5-508745号公報において記載されている。

【0040】以上のように構成された電界効果トランジスタについて、その動作について説明をする。

【0041】ゲート電極22等、ソース電極24等、ドレイン電極25等、チャネル部分26等にはさまれたゲート絶縁層23等は、コンデンサと同様に、印加した電圧によって両側に電荷を生じる。

【0042】ゲート電圧によって有機半導体26等中に誘起されたキャリアは、ソース・ドレインの電圧によって、ドレイン電流となって流れる。

【0043】ここで、有機半導体がp型であれば正孔（ホール）が励起され、n型であれば電子が励起される。

【0044】なお、ゲート電圧 $V_G = 0$ におけるドレイン電流を減らすため等に、有機半導体薄膜は十分に不純物のおさえられた材料を蒸着したり、生成した薄膜の不純物を脱ドープすることがなされていることが一般的である。

#### 【0045】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の従来の構成の有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタでは、現在のところ有機半導体薄膜の移動度が、たかだか $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ から $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度であり、移動度の値がアモルファスシリコンに比べて低いことから、電界効果トランジスタのドレイン電流が

小さくなったり、同じドレイン電流を得ようとすると、高いドレイン電圧・高いゲート電圧を必要とするという課題を有していた。

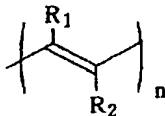
【0046】よって、アモルファスシリコン並の高い移動度を実現する有機半導体、ゲート絶縁材料の組合せが非常に重要である。

【0047】本発明は、上記従来の問題点を解決するもので、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタ構造で移動度をアモルファスシリコンと同等かまたはそれ以上の値とした電界効果トランジスタを提供することを目的とする。

【0048】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため、請求項1記載の本発明は、ゲート電極と、ソース電極と、ドレイン電極と、有機半導体材料で構成されたチャネル部と、シアノ基を有する絶縁性ポリマーで構成されたゲート絶縁層とを有する電界効果トランジスタである。

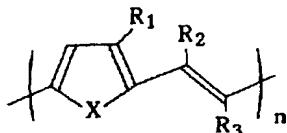
【0049】そして、この有機半導体材料は、 $\pi$ 共役系が広がったといえる少なくとも7つの $\pi$ 電子共役結合を含む多共役有機化合物を用いることが好適であり、以下



ただし、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

【0053】

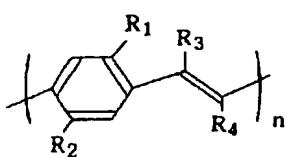
【化19】



ただし、XはS、Se、Te、NH  
R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>はH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

【0054】

【化20】



ただし、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>はH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

【0055】

【化21】



ただし、Mは2価の金属

の化学式（化16）から（化21）のいずれかで示される化合物を用いててもよい。

【0050】

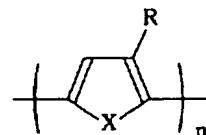
【化16】



ただし、XはS、Se、Te、NH  
R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

【0051】

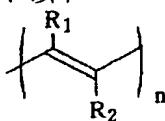
【化17】



ただし、XはS、Se、Te、NH  
RはH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

【0052】

【化18】

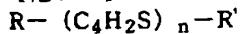


ただし、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>はH、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

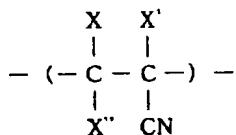
【0056】更に、有機半導体材料は、以下の化学式（化22）で示されるπ電子共役系が広がった化合物であってもよい。

【0057】

【化22】



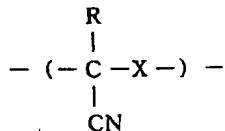
ただしR, R'はH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基



ただしX, X', X''はH, アルキル基、フェニル基、ハロゲン

【0060】

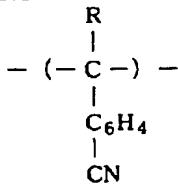
【化24】



ただしXはO, S, Se, CH<sub>2</sub>, -C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-  
RはH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

【0061】

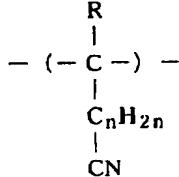
【化25】



ただしRはH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

【0062】

【化26】



ただしRはH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基  
nは正の整数

【0063】そして、シアノ基を有する絶縁性ポリマーは、その中にあるシアノ基の密度が高いポリマーがよいが、とりわけポリアクリロニトリル（PAN、CAS登録番号=147237-94-3）が有効である。このポリアクリロニトリルは(CH<sub>2</sub>CHCN)の構造式を持つポリマーである。

【0064】更に、以上の絶縁性ポリマーや有機半導体材料が適用可能な具体的素子構成は、ゲート絶縁層がシリコン酸化膜とシアノ基を有する絶縁性ポリマーからなる複合膜であり、シアノ基をもつ絶縁性ポリマーがチャネル部と接する構成のものであるが、これに限らず、ゲ

【0058】一方、シアノ基を有する絶縁性ポリマーは、以下の化学式（化23）から（化26）のいずれかで示される化合物を用いてもよい。

【0059】

【化23】

ート絶縁層の上にチャネル部がある構成やチャネル部の上にゲート絶縁層、ゲート電極がある構成等であって適用は可能である。

【0065】もちろんチャネル部に用いられる有機材料や絶縁層に用いられるシアノ基を有する絶縁性ポリマーは上記のものに限らず、同様の機能を有するものであれば他の材料でも使用可能である。

【0066】例えば、有機材料は、オリゴチオフェン類、ポリチオフェン類、ポリピロール類、ポリアニリン類、ポリアセチレン類、ポリチエニレンビニレン類、ポリフェニレンビニレン類やフタロシアニン類、各種ホルム輸送材料等があげられる。

【0067】

【作用】シアノ基をもつポリマーをゲート絶縁層に用いることでチャネルの有機半導体の移動度が著しく向上し、ドレイン電流が増大する。

【0068】例えば、ゲート絶縁層にポリアクリロニトリル、チャネル部に両末端をメチル基またはエチル基で置換したオリゴチオフェンの組合せを用いると最大で4cm<sup>2</sup>/Vsの高い移動度が得られ、この値は、有機半導体薄膜の移動度としては、もっとも高い部類に属する。

【0069】更に、ゲート絶縁層としてポリアクリロニトリル/SiO<sub>2</sub>等の複合膜を用いた場合にも、SiO<sub>2</sub>上の場合に比べて移動度が向上する。

【0070】又、チャネルのゲート絶縁体との界面の近傍からの寄与が大きいので、有機半導体がポリアクリロニトリルに接触していれば、ゲート絶縁層がポリアクリロニトリル単独であっても、ポリアクリロニトリル/SiO<sub>2</sub>の複合膜であっても、同程度移動度が向上する。

【0071】というのは、ソース電極とドレイン電極とを結ぶチャネル部のうち、ゲート絶縁層との界面の部分を流れる電流が支配的であるため、チャネルに接しているゲート絶縁層の種類によって移動度が影響されるためである。

【0072】なお、シアノ基をもつポリマーを用いることによる有機半導体の移動度の向上は、π共役系の広がり

た有機半導体全般にわたって有効である。

【0073】更に、目的とする素子構造、例えば発光ダイオードにおいてみられるように、エネルギー準位の関係から使える有機半導体の種類が限られる場合が多く、そのような場合においても確実に高い移動度が得られる。

【0074】

【実施例】本発明の具体的な実施例の説明に入る前に、概略の説明を行う。

【0075】まず、本発明に係るチャネル部に用いられる有機半導体材料とゲート絶縁層に用いられるシアノ基を有するポリマー材料との組合せが適用される代表的な電界効果トランジスタ構造は、図1に示す構造であるが、もちろん図2から図4に示す構造にも適用可能である。

【0076】これらの構造は、いずれにおいても、シアノ基を有する絶縁性ポリマーをゲート絶縁層またはゲート絶縁層の一部として用い、チャネル部の有機半導体層と接しさせているものである。

【0077】まず、図1の構成では、シアノ基を有する絶縁性のポリマーを含むゲート絶縁層13に接したチャネル部である有機半導体層16を介して、ソース電極14とドレイン電極15を設け、更にゲート絶縁層13とシリコン酸化膜19とを複合化し、シリコン基板又は金属基板18を基板兼ゲート電極として用いた電界効果トランジスタである。

【0078】また、図2の構成では、基板21上にゲート電極22、その上にシアノ基を持つ絶縁性ポリマーを含むゲート絶縁層23、その上にソース電極24とドレイン電極25があって、ソース電極24とドレイン電極25を結ぶゲート絶縁層23に接して有機半導体層26がある素子構造である。ここで、ゲート電極22としては金属電極やITO電極、高ドープのため金属状態にある導電性ポリマーなどが用いられる。

【0079】また、図3の構成では、図2の基板とゲート電極を、基板兼ゲート電極37で置き換えた構成をしている点で図2の構成と異なり、この基板兼ゲート電極37として用いられるのは高濃度にドープしたシリコン基板、金属が用いられる。

【0080】また、図4の構成では、ゲート電極42が有機半導体層43よりも上部にある素子構成であり、有機半導体層43は、基板41とシアノ基をもつ絶縁性ポリマーからなるゲート絶縁層43にはさまれており、素子の特性が雰囲気ガスの影響を受けにくく、有機半導体がさらされないため安定な構造をしている。

【0081】そして、図1から図3に示す構成では、ゲート絶縁層形成後、有機半導体層を蒸着等により形成すればよいが、図4のようにゲート絶縁層が有機半導体層の上部に形成されても同様に作製でき、移動度の向上を示すものである。

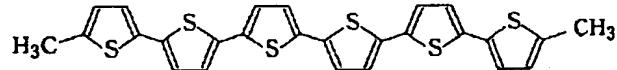
【0082】この内、図1と図4の構成で、以下の各実施例において、各種有機半導体を用いて電界効果トランジスタを作製した例を示し、比較例のシリコン酸化膜をゲート絶縁層とした構造の電界効果トランジスタでの有機半導体の移動度よりも高い移動度を確認した。もちろん、他の素子構造でも同様に高い移動度を呈すると考えられる。

【0083】また、シアノ基を持つ絶縁性ポリマーとしては、代表的にポリアクリロニトリルまたはシアノエチルブルランを用いた。

【0084】また、用いた有機半導体は、ジメチルセクシチオフェン(DMSxT)、クオータチオフェン(QtT)、鉛フタロシアニン(PbPc : C<sub>32</sub>H<sub>16</sub>N<sub>8</sub>Pb, CAS登録番号15187-16-3)であり、それらの分子構造は順に以下の(化27)から(化29)に示される。

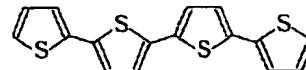
【0085】

【化27】



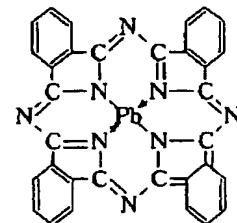
【0086】

【化28】



【0087】

【化29】



【0088】用いたジメチルセクシチオフェンは、両末端のα位の水素がメチル基で置換されたチオフェンの6量体で、モノクロロベンゼンで再結晶したものである。

【0089】このジメチルセクシチオフェンは、π共役系が長いことやメチル基に置換した効果により、クオータチオフェンに比較して5桁ほど高い移動度を有する。

【0090】なお、ジメチルセクシチオフェンの合成は、アドバンスト・マテリアルズ誌(S. Hotta, K. Waragai, Adv. Mater. 5巻, 896頁(1993年))に記載の方法で行なった。

【0091】また、クオータチオフェンは、チオフェンの4量体で、両末端のα位の水素が無置換のものである。

【0092】これらのオリゴチオフェンは、グリニヤール反応によって段階的に作られるため単一の重合度であ

り、不純物は少なく、単結晶が得られやすい。

【0093】そのため、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタでしばし必要になる脱ドープの必要がない。

【0094】しかも蒸着膜の膜質もよく、高次のX線解析ピークが認められる（ジャーナル・オブ・マテリアル・ケミストリー誌：S. Hotta, K. Waragi, J. Mater. Chem., 1巻 (1991) 835頁に記載）。

【0095】よって、このような薄膜の膜質の良さが、となりあう分子間のキャリアの移動を起こり易いもとされている。

【0096】また、鉛フタロシアニンは、市販品がフタルイミドなどの不純物を多く含むため市販品を2回の昇華精製をしてから用いた。

【0097】ここでは、鉛フタロシアニンについて測定したが、一般にフタロシアニン錯体の物性は中心金属の種類が変わっても大きくは変わらないので、他の2価または1価の金属フタロシアニン、金属を含まないフタロシアニンについても同様に移動度が向上する。

【0098】なお、シアノ基を有するポリマーをゲート絶縁層として用いるとチャネルの移動度が向上する理由について検討する。

【0099】例えば、前述のGarnier他は、シアノエチルプルランの $\epsilon = 18.5$  (10KHzにて) という比誘電率値を理由にあげている（特表平5-508745号参照）。

【0100】しかし、後述の比較例に示す比誘電率の高いタンタル酸化膜 ( $\epsilon = 24 \sim 25$ ) を用いた電界効果トランジスタ構造では、SiO<sub>2</sub>上の場合と同等の移動度であり、その移動度の活性化エネルギーもSiO<sub>2</sub>上のものと同等である。

【0101】また、本発明の実施例に示すポリアクリロニトリルの比誘電率は、 $\epsilon = 4.5$  (10KHz, 22°Cにて) である (Eugen Neagu, Mihai Leanca, Rodica Neagu, An. Stiint. Univ. "Al. I. Cuza" Iasi, Sect. 1b, 20 (2), 133-8頁 1974年に記載) であるに対して、特表平5-508745号公報記載では、少なくとも5の比誘電率が必要としているが、ポリアクリロニトリルの比誘電率はその値よりも小さく、しかも移動度の向上を引き起こしている。【0102】よって、必ずしもGarnier他が述べるような高い比誘電率の材料が、移動度の向上につながっていないことになる。

【0103】現在のところ、シアノ基を有するポリマーをゲート絶縁層として用いるとチャネルの移動度が向上する理由については、シアノ基が有する局在した電気双極子の作用が支配的であることが判明している。

【0104】(実施例1) 以下、本発明の第1の実施例

について、図面を参照しながら詳細に説明をする。

【0105】本実施例では、ポリアクリロニトリルをゲート絶縁層材料として、有機半導体としてジメチルセクシチオフェンを用いた電界効果トランジスタを作製した。

【0106】具体的には、図4の構成の電界効果トランジスタにおいて、基板41としてガラス基板、ゲート電極42としてITO膜、ゲート絶縁層43にシアノ基を有する絶縁性ポリマーとしてポリアクリロニトリル、ソース電極44およびドレイン電極45として各々金の蒸着膜、有機半導体層46としてジメチルセクシチオフェンを用いた構成を有する。

【0107】ポリアクリロニトリルをゲート絶縁層に用いた電界効果トランジスタを次のようにして作製した。

【0108】まず、洗浄したITO (Indium Tin Oxide) 膜付きガラス基板 (50Ω/□) を用意し、この上に、ポリアクリロニトリル(分子量150,000, Polyscience社製)の0.1g/m<sup>2</sup>のジメチルスルホキシド溶液を、1500rpmでスピンドルコートし、ドライヤーを用いてこのスピンドルコート膜を乾燥し、ゲート絶縁層43とした。

【0109】そして、その上に金を真空蒸着し、各々ソース電極44、ドレイン電極45を形成した。

【0110】又、上述のITO膜をゲート電極42として用い、ソース電極44、ドレイン電極45、ゲート電極42の各電極に、0.1mm中の金線を銀ペーストで配線した。

【0111】ここで、インピーダンスアナライザHewlett-Packard 4194Aを用いてゲート電流を測定し、ソース・ゲート間のゲート容量を電極面積で割り、単位面積当たりのゲート容量とした。そして、その典型的な値は、1nF/cm<sup>2</sup>であった。

【0112】その後、チャネル部分に蒸着されるようになし、不要部分をアルミホイル等で覆って、ジメチルセクシチオフェン10mgを、 $2 \sim 4 \times 10^{-6}$ Torrの圧力下で、蒸着基板から5cm離した昇華金属用のタンクステンポートから、抵抗加熱により真空蒸着し、有機半導体層46とした。

【0113】この条件において、ジメチルセクシチオフェンの中心付近の膜厚は、500nmになった。

【0114】そして、Hewlett-Packardの半導体パラメータアナライザー4145B、Keithley 236ソース・メジャユニットとプログラマブル電圧源Keithley 617をパソコンによりコントロールした測定系を用いて、本実施例の電界効果トランジスタの各パラメータの測定を行なった。

【0115】また、移動度は、電界効果トランジスタの線形領域のドレイン電流IDを与える下記の(数1)を、ゲート電圧にVGにより微分した下記の(数2)より求めることができる。

【0116】

【数1】

$$I_D = \mu C_0 W / L \{ (V_G - V_T) V_D - V_D^2 / 2 \}$$

【0117】

【数2】

$$\Delta I_D / \Delta V_G = \mu C_0 V_D W / L$$

【0118】ここで $\mu$ は移動度、 $C_0$ は単位面積当りのゲート容量、 $W$ はチャネル幅、 $L$ はチャネル長、 $V_G$ はゲート電圧、 $V_D$ はドレイン電圧、 $V_T$ はしきい値電圧である。

【0119】また、ジメチルセクシチオフェンに代え、クオータチオフェン、鉛フタロシアニンについても同様に電界効果トランジスタを作製し、同様の測定を行った。

【0120】このとき、チャネル長 $L = 2.4\text{ cm}$ でチャネル幅 $W = 0.01\text{ cm}$ のもの、またはチャネル長 $L = 0.6\text{ cm}$ でチャネル幅 $W = 0.02\text{ cm}$ のものの2種類を作製した。

【0121】これらの電界効果トランジスタの動作特性を、図5(a)～(c)に示す。図中に、各々のチャネル幅 $W$ 、チャネル長 $L$ 、単位面積あたりのゲート容量 $C_0$ を示した。

【0122】これらの図より、ジメチルセクシチオフェン、クオータチオフェン、鉛フタロシアニンとも、マイナスのゲート電圧を印加したときにドレイン電流が増大していることからp型の半導体特性を示していることがわかる。

【0123】そして、図5(a)のジメチルセクシチオフェンの電界効果トランジスタの場合に、最も、ゲート電圧に対するドレイン電流の変化が大きく、しかも $V_G = 0\text{ V}$ と $V_G = -11\text{ V}$ におけるドレイン電流の変化の比が大きい。

【0124】結果として、ジメチルセクシチオフェンで $2\text{ cm}^2/\text{Vs}$ （最大値で $4\text{ cm}^2/\text{Vs}$ ）、クオータチオフェンで $1.4 \times 10^{-5}\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、鉛フタロシアニンで $1.3 \times 10^{-4}\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の移動度が得られた。

【0125】これらの値は、シリコン酸化膜上のジメチルセクシチオフェン、クオータチオフェン、鉛フタロシアニンの移動度が、各々 $10^{-2}$ 、 $2 \times 10^{-7}$ 、 $10^{-5}\text{ cm}^2/\text{Vs}$ であるのに対して、1桁以上大きく、移動度の格段の向上をもたらしていることがわかる。

【0126】以上のように、本実施例によれば、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタにおいて、ゲート絶縁層にシアノ基をもつ絶縁性ポリマーであるポリアクリロニトリルを用いることにより、ゲート絶縁層にシリコン酸化膜を用いたものよりも高い移動度を有する電界効果トランジスタを得ることができ、このシアノ基をもつポリマーによる移動度の向上は、広範囲の有機半導体に有効であると考えられる。

【0127】更に、ポリアクリロニトリルは、通常の有

機溶媒に溶解せず、ジメチルスルホキシド、ジメチルホルムアミド等の限られた溶媒に溶解するだけであるため、ポリアクリロニトリルを製膜後に有機洗浄やリソグラフィーが可能になる利点をも併せ持つ。

【0128】なお、このように電界効果トランジスタ構造にして測定した移動度は、time of flight法により測定した移動度とは異なることがある。

【0129】というのは、time of flight法では、光照射によりキャリアを発生させてるので、分子のHOMO（最高被占分子軌道）やLUMO（最低空分子軌道）の絶対的な準位がどこであるかはキャリアの発生に無関係で、HOMOとLUMOのエネルギー差がキャリアの発生に関係している。

【0130】一方、電界効果トランジスタ構造では、ゲート電極・ゲート絶縁層・チャネル部の有機半導体のMIS（絶縁ゲート半導体）構造での印加電圧によるものなので、ゲート電極・ゲート絶縁層・有機半導体のエネルギー準位の関係に影響されるからである。

【0131】例えば、time of flight法では、通常は測定できるアントラセン単結晶を用いた場合でも、電界効果トランジスタ構造にすると移動度の測定ができない。

【0132】これは、アントラセンは、可視領域に吸収を持たず透明であるように、HOMO-LUMOのエネルギー差が大きく、HOMOの準位がテトラセンのHOMOの準位よりも深い準位にあるため、電界効果トランジスタ構造でゲート印加電圧によってキャリアを誘起することができないことによる。

【0133】このように電界効果トランジスタ測定により求めた移動度は、time of flight法により求めた移動度とは異なることがあるが、本実施例で求めた移動度は、実際に素子として利用される電界効果トランジスタ構造におけるものであり、単結晶中で求めた移動度よりも、より実際的なものである。

【0134】（実施例2）以下、本発明の第2の実施例について、図面を参照しながら説明をする。

【0135】本実施例では、図1に示されるポリアクリロニトリル層とシリコン膜からなる複合絶縁層を有する電界効果トランジスタについて説明をする。

【0136】具体的には、シアノ基を有するポリマー層13としてポリアクリロニトリル、有機半導体層16としてジメチルセクシチオフェンを用いた電界効果トランジスタを以下のように作製した。

【0137】まず、 $1000\text{ \AA}$ の熱酸化膜（シリコン酸化膜）19のついたn型高濃度ドープのシリコン基板18を、スピンドルコートしやすい大きさに劈開する。

【0138】なお、このとき、熱酸化膜を成長させた時にできる裏面の酸化膜は、簡便のため紙やすりにより除去し、ゲート電極をとりだすためのシリコン基板と銀ベースとの導通を確保した。

【0139】次に、ポリアクリロニトリル(分子量150,000、Polyscience社製)の0.1g/m<sup>2</sup>のジメチルスルホキシド溶液を、1000または2000rpmで、シリコン酸化膜上にスピンドルコートした。

【0140】スピンドルコート後ドライヤーを用いてスピンドルコート膜を乾燥し、シアノ基を有するポリマー層13とした。

【0141】その上にソース電極14とドレイン電極15として用いる金電極を真空蒸着する(チャネル長L=2.4cm、チャネル幅W=0.01cm)。

【0142】そして、金電極を蒸着した後に、シリコン基板18を劈開して不図示のプリント基板上に固定し、銀ペーストを用い金線の配線をし、金線に力がかかるのはがれることのないようにプリント基板と金線(Φ0.1mm)をエポキシ接着剤で固定した。

【0143】なお、このとき、劈開に先だって、ポリアクリロニトリルの薄膜13はシリコン酸化膜19との密着性がよくなく容易にはがれやすいため、ポリアクリロニトリルのスピンドルコート膜13、シリコン基板18の端面にエポキシ接着剤を塗り固めた後、ポリアクリロニトリルのスピンドルコート膜13をカッターナイフであらかじめ切り放しておく。

【0144】又、ここでHewlett Packard 4194A impedance/gain phase analyzerでパラメータを測定し、低周波での一致のよい並列の等価回路のコンデンサの容量を電極面積で割って、ゲート容量C<sub>0</sub>を算出し、その単位面積あたりのゲート容量C<sub>0</sub>は、測定結果のグラフ中に示した。

【0145】その後、チャネル周辺部を残してアルミホイルでマスクして、ジメチルセクシチオフェン10mgを、タンクステン昇華金属用ポートから5cmの距離で、2×10<sup>-6</sup>~4×10<sup>-6</sup>Torrの圧力下で真空蒸着し、膜厚500nm程度の有機半導体層16であるオリゴチオフェン膜を形成した。

【0146】そして、実施例1と同様にして電界効果トランジスタ特性を測定した結果は、図6に示す通りであり、1cm<sup>2</sup>/Vsの大きい移動度が得られた。

【0147】なお、絶縁層をポリマー絶縁層とシリコン酸化膜との複合膜にした構造は、次のような利点を持つ。

【0148】ポリマー単独の絶縁層より、ポリマー層/酸化ケイ素膜の複合膜は、ゲートの絶縁性を確保しやすいため、ポリマー層の厚さを薄くすることができる。

【0149】このため、この複合膜の方が、ポリマー単独の場合よりも単位面積当たりのゲートの電気容量を確保しやすく、同じ移動度、チャネル長、チャネル幅の組合せでも大きなドレイン電流が得られる。

【0150】(実施例3)以下、本発明の第3の実施例

について、図面を参照しながら説明をする。

【0151】本実施例では、シアノエチルブルランをゲート絶縁層に用い、鉛フタロシアニンを有機半導体として用いたもので、実施例1の作製工程と基本的には同様である。

【0152】具体的には、図4の構成において、基板41としてガラス基板、ゲート電極42としてITO膜、シアノ基をもつ絶縁性ポリマー43としてシアノエチルブルラン、ソース電極44、ドレイン電極45として金の蒸着膜、有機半導体層46として鉛フタロシアニンを用いたものである。

【0153】ゲート電極42となるITO膜付きガラス基板(50Ω/□)を洗浄して用意し、この上にCYE PL(信越化学製、商品名シアノレジンCR-S)の0.2g/m<sup>2</sup>のアセトニトリルとジメチルホルムアミドとの等体積混合溶媒溶液を1000rpmでスピンドルコートした。

【0154】スピンドルコート後ドライヤーを用いてスピンドルコート膜を乾燥し、ゲート絶縁層43とした。

【0155】そして、その上にソース電極44、ドレイン電極45として用いる金電極を真空蒸着して形成した。

【0156】ここで、ゲート容量を、インピーダンスマナライザHewlett-Packard 4194Aを用いて測定した。

【0157】その後、不要部分をアルミホイル等で覆つて、鉛フタロシアニンを2~4×10<sup>-6</sup>Torr圧力下で、昇華金属用のタンクステンポートから、抵抗加熱により真空蒸着した。

【0158】ここで、チャネル長L=2.4cmまたは0.6cm、チャネル幅W=0.01cmまたは0.02cmとした。

【0159】ついで、ジメチルセクシチオフェン、クオーターチオフェンについても鉛フタロシアニンの場合と同様に電界効果トランジスタを作製し、実施例1と同様に各パラメータを測定した。

【0160】これらの測定結果は、図7(a)~(c)に示すとおりであり、ジメチルセクシチオフェンで3cm<sup>2</sup>/Vs、クオーターチオフェンで3×10<sup>-5</sup>cm<sup>2</sup>/Vs、鉛フタロシアニンで3.2×10<sup>-3</sup>cm<sup>2</sup>/Vsであった。

【0161】よって、本実施例においても、シアノ基を有するシアノエチルブルランをゲート絶縁層に用いることにより有機半導体の移動度が向上した電界効果トランジスタを得ることができた。

【0162】(実施例4)以下、本発明の第4の実施例について、図面を参照しながら説明をする。

【0163】本実施例では、ゲート絶縁層としてシアノエチルブルランとシリコン酸化膜の積層膜を用いた。

【0164】具体的には、図1において、シアノ基を有

する絶縁性ポリマー層13としてシアノエチルプルラン、有機半導体層16としてジメチルセクシチオフェンを用いたものであり、実施例2の作製工程と基本的には同様である。

【0165】ここで、ゲート絶縁層の十分な絶縁を確保するために、n型高濃度ドープのシリコン基板18上の熱酸化膜（シリコン酸化膜：厚さ104.6nm）上に、2g/10mlのジメチルホルムアミドとアセトニトリルとの等体積混合溶媒のCYEP溶液を1000rpmでスピンドルコートし、ドライヤーでスピンドルコート膜を乾燥して絶縁層13とした。

ゲート絶縁層	ジメチルセクシチオフェンの移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)	クオータチオフェンの移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)	鉛フタロシアニンの移動度 (cm <sup>2</sup> /Vs)
SiO <sub>2</sub>	10 <sup>-2</sup>	2×10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>
ポリアクリロニトリル	2	1.4×10 <sup>-5</sup>	1.3×10 <sup>-4</sup>
シアノエチルプルラン	3	3×10 <sup>-5</sup>	3.2×10 <sup>-3</sup>
ポリアクリロニトリル/SiO <sub>2</sub>	1	未測定	未測定
シアノエチルプルラン/SiO <sub>2</sub>	7×10 <sup>-2</sup>	未測定	未測定

【0170】（比較例1）本比較例では、シリコン酸化膜をゲート絶縁層に用いた電界効果トランジスタを以下のように作製した。n型シリコン基板（ρ=0.01Ωcm）上に、酸化膜（厚さ270nm）を形成し、その上にクロム（厚さ15nm）、金（厚さ150nm）を逐次蒸着し、ソースおよびドレイン電極を形成した。

【0171】ここで、チャネル長L=4μm、チャネル幅W=1.5mmとし、ゲート容量C<sub>0</sub>=12nF/cm<sup>2</sup>であった。

【0172】ついで、ウエハーを劈開後セラミックパッケージにマウントした後にポールボンダで配線し、その後ジメチルセクシチオフェンを2~4×10<sup>-6</sup>Torr圧力下で、昇華金属用のタングステンポートから抵抗加熱により真空蒸着した。

【0173】このとき、ポートと蒸着基板との距離を5cm程度とし、蒸着源10mgを飛ばしたときの中心附近の典型的な膜厚は500nmであった。

【0174】ついで、有機半導体にクオータチオフェン、鉛フタロシアニンを用いた場合についても同様に電界効果トランジスタを作製した。

【0175】また、電界効果トランジスタの各パラメータの測定は、上記実施例と同様に行った。

【0176】鉛フタロシアニンでの測定結果のみ図9に示すが、その結果は、（表1）に示すようにジメチルセクシチオフェンで10<sup>-2</sup>cm<sup>2</sup>/Vs、クオータチオフェンで2×10<sup>-7</sup>cm<sup>2</sup>/Vs、鉛フタロシアニンで10<sup>-5</sup>cm<sup>2</sup>/Vsと低い値であった。

【0177】（比較例2）さらに、本発明との比較するために、CYEPLよりも高い比誘電率（ε=24~25）を有するタンタル酸化膜Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>を用いて、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>複合膜からなるゲート絶縁層の電界効果トランジスタを作製した。

【0166】本実施例においては、CYEPLスピンドルコート膜である絶縁層13は、シリコン酸化膜との密着性が良好である。

【0167】本実施例においても、電界効果トランジスタの各パラメータの測定を同様に行い、その結果は図8に示す。そして、求められた移動度は9×10<sup>-2</sup>cm<sup>2</sup>/Vsであり、高い値を有した。

【0168】なお、以上の実施例の移動度の測定結果を以下の（表1）にまとめた。

【0169】

【表1】

【0178】ここで、ゲート絶縁層の十分な絶縁を確保するために、n型シリコン基板上のシリコンの熱酸化膜（厚さ104.6nm）上に、タンタル酸化膜を20.1.0nmの厚さにスパッターにより製膜し、その上にソースおよびドレイン電極を作製した（チャネル長L=0.1mm、チャネル幅W=2.4mm）。

【0179】また、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>複合膜の単位面積当りの電気容量（16.7nF/cm<sup>2</sup>）は、タンタル酸化膜の電気容量とシリコン酸化膜の電気容量の直列の電気容量として計算された値とよく一致した。

【0180】そして、チャネル層の有機半導体としては、ジメチルクインケチオフェン（両末端のα位の水素をメチル基で置換したチオフェンの5量体）を用い、タングステンポートから真空蒸着により製膜し、電界効果トランジスタの作製をした。

【0181】電界効果トランジスタの各パラメータの測定は、上記実施例と同様である。その結果を図10に示すが、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/SiO<sub>2</sub>複合膜上の移動度は、1.8×10<sup>-3</sup>cm<sup>2</sup>/Vsであり、シリコン酸化膜の場合と大差のない値となった。

【0182】また、活性化エネルギーの測定値も、シリコン酸化膜上の場合と同様の0.17eVとなった。

【0183】このように高誘電率のタンタル酸化膜を用いても、オリゴチオフェンの移動度が影響されないことから、移動度向上の要因は、ゲート絶縁層の比誘電率ではないことがわかる。

【0184】この原因について発明者が検討したところ、この移動度の向上は、シアノ基が有する局在した電

気双極子の作用が支配的であることが判明した。

【0185】また、シアノ基を有する有機化合物を、他のポリマー中に分散させてもその中に含まれる電気双極子の働きにより同様の効果を示すことが期待できる。

#### 【0186】

【発明の効果】以上のように、本発明においては、有機半導体をチャネル部に用いた電界効果トランジスタにおいて、ゲート絶縁層にシアノ基を有する絶縁性ポリマーを用いることにより、有機半導体薄膜中の移動度を向上させ、その結果としてドレイン電流を増大させることができる。

【0187】更に、ジメチルセクシチオフェンとポリアクリロニトリルの組合せで最大で  $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  もの高い移動度を実現することもできる。

【0188】よって、有機半導体をチャネル層に用いた電界効果トランジスタ構造において、アモルファスシリコンと同等かまたはそれ以上のキャリアの移動度を実現できたといえ、種々の有機半導体を電界効果トランジスタに用い得る途を開き、その効果は大きい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電界効果トランジスタの断面図

【図2】従来例と同様の構造で本発明の絶縁層を適用可能な電界効果トランジスタの断面図

【図3】従来例と同様の構造で本発明の絶縁層を適用可能な電界効果トランジスタの断面図

【図4】従来例と同様の構造で本発明の絶縁層を適用可能な電界効果トランジスタの断面図

【図5】本発明の第1の実施例における電界効果トランジスタの特性図

【図6】同第2の実施例における電界効果トランジスタの特性図

【図7】同第3の実施例における電界効果トランジスタ

の特性図

【図8】同第4の実施例における電界効果トランジスタの特性図

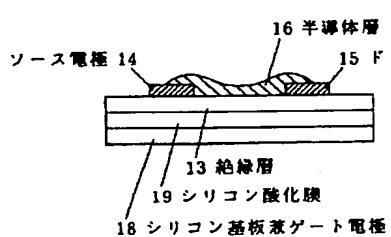
【図9】比較例1における電界効果トランジスタの特性図

【図10】比較例2における電界効果トランジスタの特性図

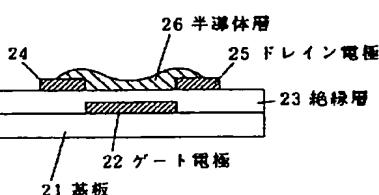
#### 【符号の説明】

- 1 3 絶縁層
- 1 4 ソース電極
- 1 5 ドレイン電極
- 1 6 有機半導体層
- 1 8 基板兼ゲート電極
- 1 9 シリコン酸化膜
- 2 1 基板
- 2 2 ゲート電極
- 2 3 絶縁性層
- 2 4 ソース電極
- 2 5 ドレイン電極
- 2 6 有機半導体層
- 3 3 絶縁層
- 3 4 ソース電極
- 3 5 ドレイン電極
- 3 6 有機半導体層
- 3 7 基板兼ゲート電極
- 4 1 基板
- 4 2 ゲート電極
- 4 3 絶縁性層
- 4 4 ソース電極
- 4 5 ドレイン電極
- 4 6 有機半導体層

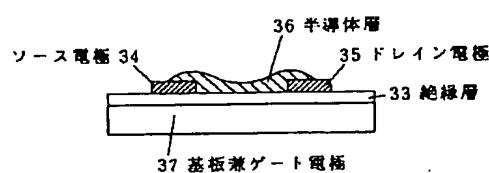
【図1】



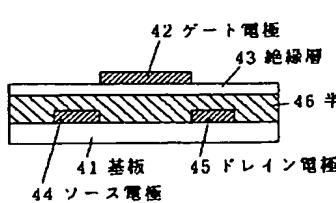
【図2】



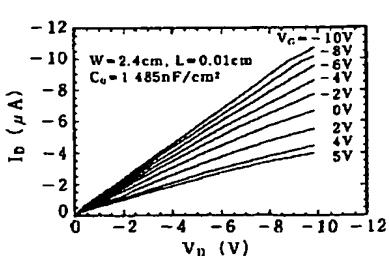
【図3】



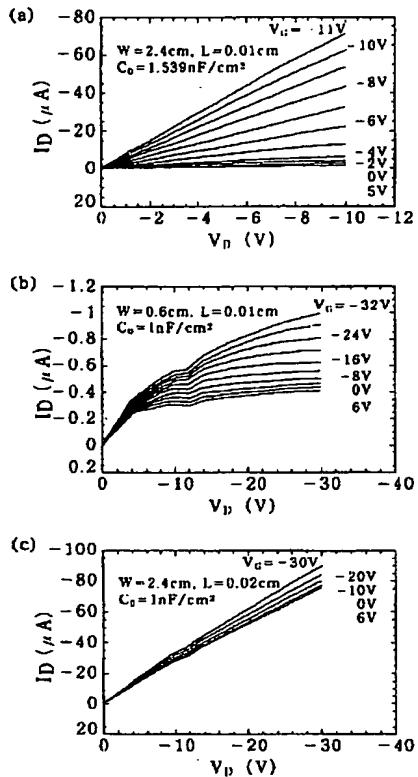
【図4】



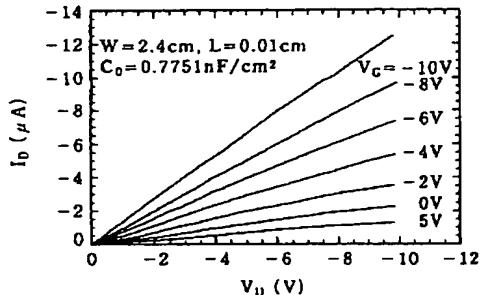
【図8】



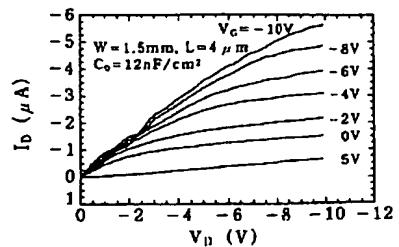
【図5】



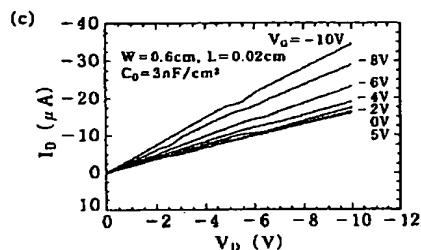
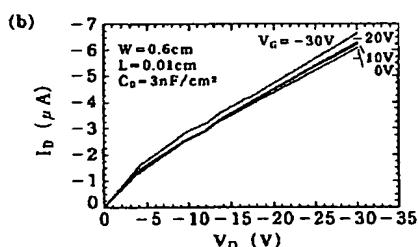
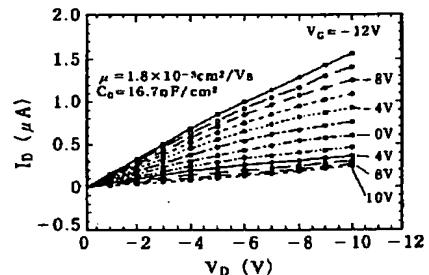
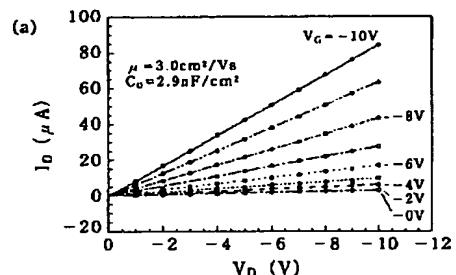
【図6】



【図9】



【図7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

府内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/336

29/786

// C 0 8 F 120/42

M N C

H 0 1 L 29/78

6 1 7 T

6 1 8 B

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

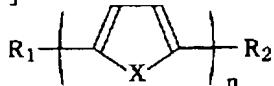
## [Claim(s)]

[Claim 1] The field-effect transistor which has a gate electrode, a source electrode, a drain electrode, the channel section that consisted of organic-semiconductor ingredients, and the gate insulating layer which consisted of insulating polymers which have a cyano group.

[Claim 2] An organic-semiconductor ingredient is a field-effect transistor according to claim 1 using a multi-conjugation organic compound including at least seven pi electron conjugated bonds.

[Claim 3] An organic-semiconductor ingredient is a field-effect transistor according to claim 1 or 2 using the compound shown by either of (\*\* 6) from the following chemical formulas (\*\* 1).

## [Formula 1]

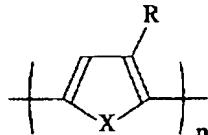


ただし、XはS, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

## [Formula 2]

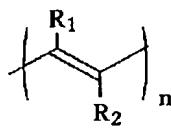


ただし、XはS, Se, Te, NH

RはH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

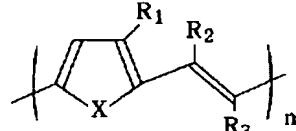
## [Formula 3]



ただし、R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

## [Formula 4]

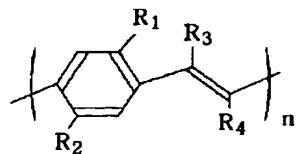


ただし、XはS, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

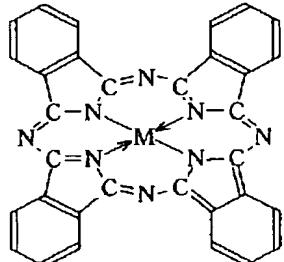
nは正の整数

[Formula 5]



ただし、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$  は H、アルキル基、アリール基、ハロゲン  
 $n$  は正の整数

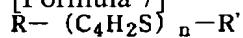
[Formula 6]



ただし、 $M$  は 2 倍の金属

[Claim 4] For an organic-semiconductor ingredient, claims 1-3 which are the compounds with which the pi electron conjugated system shown with the following chemical formulas (\*\* 7) spread are the field-effect transistors of a publication either.

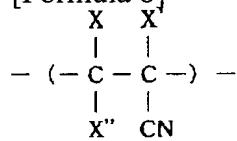
[Formula 7]



ただし  $R$ 、 $R'$  は H、アルキル基、ハロゲン、フェニル基

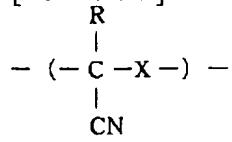
[Claim 5] For the insulating polymer which has a cyano group, claims 1-4 using the compound shown by either of (\*\* 11) from the following chemical formulas (\*\* 8) are the field-effect transistors of a publication either.

[Formula 8]



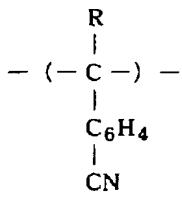
ただし  $X$ 、 $X'$ 、 $X''$  は H、アルキル基、フェニル基、ハロゲン

[Formula 9]



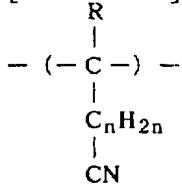
ただし  $X$  は O、S、Se、CH<sub>2</sub>、-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-  
 $R$  は H、アルキル基、ハロゲン、フェニル基

[Formula 10]



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

[Formula 11]



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

n は正の整数

[Claim 6] For the insulating polymer which has a cyano group, claims 1-5 which are polyacrylonitriles are the field-effect transistors of a publication either.

[Claim 7] A field-effect transistor given in six from claim 1 to which the insulating polymer which a gate insulating layer is the bipolar membrane which consists of an insulating polymer which has silicon oxide and a cyano group, and has a cyano group touches the channel section.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

[Industrial Application] Especially this invention relates to the field-effect transistor which used the organic-semiconductor ingredient for the channel layer about a field-effect transistor.

**[0002]**

[Description of the Prior Art] In recent years, the field-effect transistor (FET) which used the organic semiconductor for the channel part can obtain a large area easily, and is expected as objects for actuation, such as a display.

[0003] What is shown in this organic semiconductor below is reported typically. For example, the poly thiophene (applied physics Letters: indicate to A.Tsumura et al., Appl.Phys.Lett., 49 volumes, and 1210 pages (1986)), Polypyrrole, poly thienylene vinylene (the "53rd application physics scientific lecture meeting 18 besides Fuchigami pZ12 (1992) publication), The ingredient which fully dedoped conductive polymers, such as polyphenylene vinylene, The conductive polymer into which qualification radicals, such as an alkyl group or a methoxy group, were introduced for fusibility, The oligomer ingredient with which pi conjugated system, such as an oligo thiophene (it indicates to JP,4-133351,A), spread, Phthalocyanines (it indicates to JP,1-155658,A), a nickel phthalocyanine (chemical physics Letters: indicate to G.Guillaud, J.Simon, Chem.Phys.Lett.219 volume, and 123 pages (1994)), The substitution product of a silicon phthalocyanine (Singh solid films magazine: indicate to Y.L.Hua et al., Thin Solid Films, 192 volumes, and 383 pages (1990)), RUTESHIUMU About JIFUTARO cyanine, chemical physics Letters M. Madru, et It will indicate in al., Chem.Phys.Lett., 142 volumes, 103 pages, and (1987). condensation pi conjugated compound (the "52nd Japan Society of Applied Physics scientific lecture meeting" besides Waratani --), such as tetracene pentacene It is BEDT-TTF (it indicates to "52nd Japan Society of Applied Physics scientific lecture meeting" 9pR9 (1991) besides Waratani) which is the donor nature child a publication and its charge transfer mold complex indicate superconduction to be to 9pR(s)9 (1991) for a while, and is various.

[0004] Moreover, many attempts are made in order to raise a field-effect transistor property.

[0005] For example, the crystallinity of the thin film of an organic-semiconductor ingredient is raised [ using the organic-semiconductor ingredient with which pi conjugated system fully spread, ], Donor nature is raised by introducing a methyl group into an organic-semiconductor ingredient, and the property as a semi-conductor of p mold is raised, By using not an organic semiconductor with dispersion in polymerization degree but the organic-semiconductor ingredient of the oligomer of single polymerization degree etc., improvement in the mobility of the carrier which is the important parameter which opts for the engine performance of a field-effect transistor is aimed at.

[0006] The field-effect transistor (it indicates to JP,4-133351,A) using a dimethyl oligo thiophene without a molecular weight distribution is one of such the attempts.

[0007] Or the attempt which the conversion efficiency from the precursor of poly thienylene vinylene is gathered, and polymerization degree is raised, and obtains improvement in mobility is also made, and the mobility of 0.2cm<sup>2</sup>/Vs is obtained (it indicates to "53rd application physics scientific lecture

meeting" 18pZ12 (1992) besides Fuchigami).

[0008] Moreover, using for a field-effect transistor the oligo thiophene of the degrees of polymerization 3, 4, and 5 which permuted both ends by the methyl group or the ethyl group as an organic semiconductor is also indicated (it indicates to JP,4-133351,A).

[0009] Moreover, if the high organic semiconductor of donor nature, i.e., the small organic semiconductor of ionization potential, is used for a channel layer, it is reported to \*\*\*\*\* "collection of creation science propulsion business [ in the 1991 fiscal year ] research report meeting summaries" Research Development Corp. of Japan (1991) that high electric-field mobility can be obtained, and it is shown that introducing a radical with donor nature, such as developing pi conjugated system and a methyl group, leads to improvement in mobility.

[0010] Moreover, a field-effect transistor is produced also about some hole transport ingredients, and the mobility is called for.

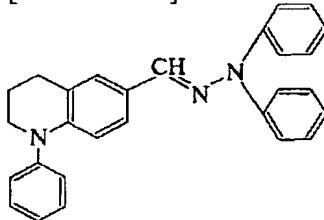
[0011] Incidentally, the level of HOMO (highest occupied molecular orbital) is the ingredient with which a shallow organic-semiconductor ingredient, i.e., electron-donative, has a hole transport ingredient small [ ionization potential ], and thoria reel amines, aromatic series hydrazones, aromatic substitution pyrazolines, and stilbenes are known.

[0012] Therefore, a hole will be easy to be produced also by impressing gate voltage with field-effect transistor structure.

[0013] If an example is given, the mobility of  $1.8 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  is obtained by 1 shown with the following chemical formulas (\*\* 12), 1-bis(p-diethyl aminophenyl)-4, 4-diphenyl-1, 3-butadiene, and (the CAS registration number 109995-82-6 and molecular formula C<sub>28</sub>H<sub>25</sub>N<sub>3</sub>).

[0014]

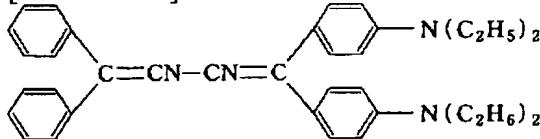
[Formula 12]



[0015] Moreover, the mobility of  $2.7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  is obtained by 1-phenyl-1 shown with the following chemical formulas (\*\* 13), 2 and 3, 4-tetrahydroquinolin-6-carboxaldehyde-1', 1'-diphenylhydrazone, and (the CAS registration number 100070-43-7 and molecular formula C<sub>36</sub>H<sub>40</sub>N<sub>2</sub>).

[0016]

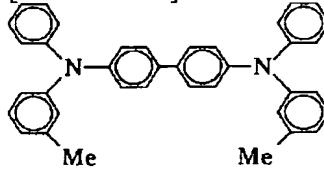
[Formula 13]



[0017] Moreover, a field-effect transistor is made also from N shown with the following chemical formulas (\*\* 14), N'-dipheynyl-N, N'-bis(3-methylphenyl)-1, 1'-biphenyl-4, 4'-diamine, and the (CAS registration number 65181-78-4 called TPD), and mobility is measured.

[0018]

[Formula 14]

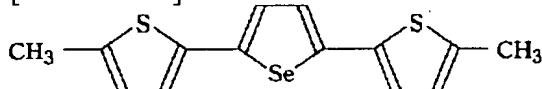


[0019] In addition, it is known like [ selenium \*\*\*\*\* seleno FEN ] oligo thiophenes in the sulfur atom of a thiophene ring that actuation of a field-effect transistor is shown.

[0020] Moreover, the field-effect transistor is operating also by the molecular structure shown with the chemical formula (\*\* 15) of the following which transposed the sulfur atom of the thiophene ring of the center of a JIMECHIRUTA thiophene to the selenium.

[0021]

[Formula 15]



[0022] As for this, the molecule which transposed the sulfur atom of a thiophene ring to the selenium and the tellurium atom also shows that a field-effect transistor operates similarly.

[0023] now, as an advantage of the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel layer A large area can be made from a simple process by the spin coat, electrolytic polymerization, etc., The organic semiconductor of many OK even if it bends with soft structure unlike an inorganic semi-conductor has susceptibility to gas, and can use as a sensor, Having the merit of the affinity of combination, since many of it being able to design out of a variety and various ingredients because there are also many from which a frame's differs and an organic semiconductor's moreover changes a qualification radical, and things an organic-semiconductor ingredient indicates fluorescence to be also become the ingredient of light emitting diode (LED) etc. is raised.

[0024] For example, LED which made the dimethyl sexy thiophene the luminous layer is also produced (sakaki the Uchiyama \*\*\*\*\* , the Hotta \*\*\*\*\* , Hiroyuki, the 54th Japan Society of Applied Physics scientific lecture meeting (1993), 29 p-ZC -1).

[0025] Of course, in order to demonstrate these advantages, it will be the requisite that sufficient mobility of an organic semiconductor is securable.

[0026] Moreover, Garnier etc. is producing the field-effect transistor whose gate insulating layer and channel layer are the organic substance (advanced MATERIARUZU: F.Garnier, G.Horowitz, X.Peng, D.Fichou, Adv.Mater., two volumes, 592 pages (1990)).

[0027] Here, since the thing with the electric capacity large in order to take the large drain current of a field-effect transistor per unit area of a gate insulating layer is good, the high insulating polymer of a high dielectric constant is used for the gate insulating layer.

[0028] Moreover, it is reported that the mobility of the organic semiconductor of the channel layer measured with field-effect transistor structure changes with the construction material of a gate insulating layer.

[0029] For example, it has reported that Garnier etc. uses a cyano ethyl pullulan for a gate insulating layer, and its mobility of the vacuum evaporationo film of a sexy thiophene improves (advanced MATERIARUZU: F.Garnier, G.Horowitz, X.Peng, D.Fichou, Adv.Mater., two volumes, 592 pages (1990)). In addition, there is the same publication also as the Patent Publication Heisei No. 508745 [ five to ] official report.

[0030] The alpha position of the thiophene ring of an end is the oligo thiophene of the hexamer which is not permuted [ which is a hydrogen atom ], and the sexy thiophene used here is surmising that that the specific inductive capacity of a cyano ethyl pullulan is as high as epsilon= 18.5 (with 10kHz) has caused improvement in the mobility of the organic semiconductor near the interface.

[0031] In addition, since a cyano ethyl pullulan melts into solvents, such as an acetone, easily in spite of such efforts, after producing a cyano ethyl pullulan, there is demerit in which organic washing or lithography (these are indispensable conditions when using the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel layer as a thin film transistor for liquid crystal display device actuation.) cannot be used at all, and it has been a decisive failure when it is going to make a field-effect transistor from high density.

[0032] and which conventional example -- also setting -- the mobility of an organic-semiconductor thin film -- an amorphous silicon and an EQC -- or it is important technical problems to become more than it and to raise the resistance to environment of a component in addition to it.

[0033] Below, the field-effect transistor which used the conventional organic semiconductor for the channel layer is explained.

[0034] Drawing 2 is the sectional view showing the example of a configuration of the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel layer.

[0035] As for the insulator with which 21 becomes a substrate, and 22, as for a gate electrode and 23, in drawing 2, a gate insulating layer and 24 are organic-semiconductor layers from which a source electrode and 25 become a drain electrode and 26 becomes a channel.

[0036] Drawing 3 is the sectional view showing the example of a configuration of the field-effect transistor which used the conductive substrate as the gate electrode.

[0037] In drawing 3, the organic-semiconductor layer from which in a gate insulating layer and 34 a source electrode and 35 become a drain electrode and 36 becomes [ 33 ] a channel, and 37 are gate [ a substrate-cum- ] electrodes, and using the silicon substrate which carried out the high concentration dope as a gate electrode hits in this case.

[0038] Drawing 4 shows the component structure which has an organic semiconductor in a substrate side rather than a gate electrode. In drawing 4, the insulator with which 41 becomes a substrate, and 42 are the configurations a gate insulating layer and 44 are organic-semiconductor layers from which a source electrode and 45 become a drain electrode and 46 becomes a channel, and the source electrode 44 and the drain electrode 45 are on a substrate 41, they have the organic-semiconductor layer 46, and a gate electrode and 43 carried out [ configurations ] the laminating to the gate insulating layer 43 and the gate electrode 42 on it.

[0039] With such conventional component structure, silicon oxide, a silicon nitride film, the cyano ethyl pullulan film, the polyvinyl alcohol film, the polyvinyl chloride film, the polymethylmethacrylate (PMMA) film, and the polystyrene film are used as a gate insulating layer, and the example below a cyano ethyl pullulan is indicated in applied physics Letters (Peng et al., Appl.Phys.Lett., 57 volumes, 2013 pages (1990)) or the Patent Publication Heisei No. 508745 [ five to ]. official report.

[0040] The actuation is explained about the field-effect transistor constituted as mentioned above.

[0041] The gate insulating-layer 23 grade inserted into the gate electrode 22 grade, the source electrode 24 grade, the drain electrode 25 grade, and the channel partial 26 grade produces a charge on both sides with the impressed electrical potential difference like a capacitor.

[0042] With the electrical potential difference of a source drain, the carrier in which induction was carried out by gate voltage into the organic-semiconductor 26 grade serves as a drain current, and flows.

[0043] Here, if an organic semiconductor is p mold, an electron hole (hole) will be excited, and an electron will be excited if it is n mold.

[0044] In addition, in order to reduce the drain current in gate voltage  $VG=0$ , as for an organic-semiconductor thin film, it is common that dedoping the impurity of the thin film which vapor-deposited the ingredient with which the impurity was fully pressed down, or was generated is made.

[0045]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the field-effect transistor which used the organic semiconductor of the above-mentioned conventional configuration for the channel layer, it had the technical problem that are  $10\text{-}1\text{cm}^2/\text{Vs}$  extent from  $10\text{-}2\text{cm}^2/\text{Vs}$ , and it now needed a high drain electrical potential difference and high gate voltage at most if the drain current of a field-effect transistor tends to become small or the mobility of an organic-semiconductor thin film tends to acquire the same drain current since the value of mobility is low compared with an amorphous silicon.

[0046] Therefore, the combination of the organic semiconductor which realizes about the same high mobility as an amorphous silicon, and a gate insulating material is dramatically important.

[0047] the field-effect transistor structure which this invention solves the above-mentioned conventional trouble, and used the organic semiconductor for the channel layer -- mobility -- an amorphous silicon and an EQC -- or it aims at offering the field-effect transistor made into the value beyond it.

[0048]

[Means for Solving the Problem] In order to attain this object, this invention according to claim 1 is a field-effect transistor which has a gate electrode, a source electrode, a drain electrode, the channel section that consisted of organic-semiconductor ingredients, and the gate insulating layer which consisted of insulating polymers which have a cyano group.

[0049] And it is suitable for this organic-semiconductor ingredient to use a multi-conjugation organic compound including at least seven pi electron conjugated bonds which can say that pi conjugated system spread, and the compound shown by either of (\*\* 21) from the following chemical formulas (\*\* 16) may be used.

[0050]

[Formula 16]



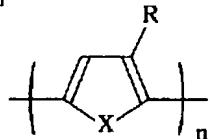
ただし、XはS, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

[0051]

[Formula 17]



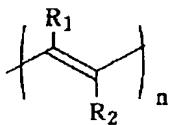
ただし、XはS, Se, Te, NH

RはH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

[0052]

[Formula 18]

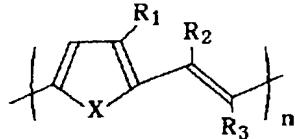


ただし、R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

[0053]

[Formula 19]



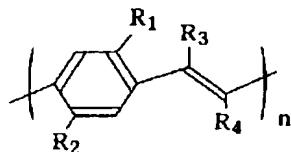
ただし、XはS, Se, Te, NH

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>はH, アルキル基、アリール基、ハロゲン

nは正の整数

[0054]

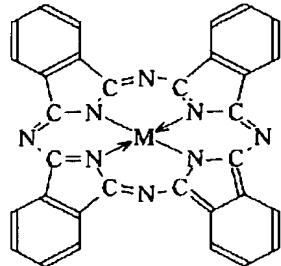
[Formula 20]



ただし、R<sub>1</sub>，R<sub>2</sub>，R<sub>3</sub>，R<sub>4</sub>はH，アルキル基、アリール基、ハロゲン  
nは正の整数

[0055]

[Formula 21]



ただし、Mは2価の金属

[0056] Furthermore, an organic-semiconductor ingredient may be the compound with which the pi electron conjugated system shown with the following chemical formulas (\*\* 22) spread.

[0057]

[Formula 22]

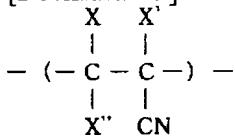
$$R - (C_4H_2S)_n - R'$$

ただし R, R'はH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

[0058] On the other hand, the compound shown by either of (\*\* 26) from the following chemical formulas (\*\* 23) may be used for the insulating polymer which has a cyano group.

[0059]

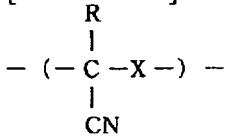
[Formula 23]



ただし X, X', X''はH, アルキル基、フェニル基、ハロゲン

[0060]

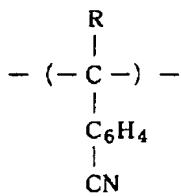
[Formula 24]



ただし XはO, S, S<sub>e</sub>, CH<sub>2</sub>, -C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-  
RはH, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

[0061]

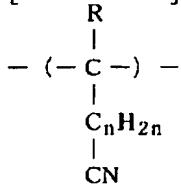
[Formula 25]



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

[0062]

[Formula 26]



ただし R は H, アルキル基、ハロゲン、フェニル基

n は正の整数

[0063] And although the insulating polymer which has a cyano group has a good polymer with the high consistency of the cyano group in it, a polyacrylonitrile (PAN, a CAS registration number = 147237-94-3) is especially effective. This polyacrylonitrile is a polymer with the structure expression of (CH<sub>2</sub>CHCN).

[0064] Furthermore, although the concrete component configuration which can apply the above insulating polymer and organic-semiconductor ingredient is bipolar membrane which consists of an insulating polymer in which a gate insulating layer has silicon oxide and a cyano group and it is the thing of a configuration of that an insulating polymer with a cyano group touches the channel section, it is the configuration which has the channel section not only on this but on a gate insulating layer, the configuration which has a gate insulating layer and a gate electrode on the channel section, and application is possible.

[0065] Other ingredients are usable, if the insulating polymer which has the cyano group used for the organic material used for the channel section, of course or an insulating layer is not restricted to the above-mentioned thing but has the same function.

[0066] For example, as for an organic material, oligo thiophenes, the poly thiophenes, polypyrrole, Poly aniline, polyacetylenes, poly thiylene vinylenes, polyphenylene vinylenes and phthalocyanines, various hole transport ingredients, etc. are raised.

[0067]

[Function] The mobility of the organic semiconductor of a channel improves remarkably by using a polymer with a cyano group for a gate insulating layer, and a drain current increases.

[0068] For example, if the combination of the oligo thiophene which permuted by the gate insulating layer by the polyacrylonitrile, and permuted both ends by the channel section by the methyl group or the ethyl group is used, the high mobility of 4cm<sup>2</sup>/Vs will be obtained at the maximum, and this value belongs to the highest category as mobility of an organic-semiconductor thin film.

[0069] Furthermore, also when the bipolar membrane of a polyacrylonitrile / SiO<sub>2</sub> grade is used as a gate insulating layer, mobility improves compared with the case on SiO<sub>2</sub>.

[0070] Moreover, even if a gate insulating layer is polyacrylonitrile independent and it is a polyacrylonitrile / bipolar membrane of SiO<sub>2</sub> if the organic semiconductor touches the polyacrylonitrile since the contribution from near the interface with the gate insulator of a channel is large, comparable mobility improves.

[0071] Because, since the current which flows the part of an interface with a gate insulating layer among the channel sections which tie a source electrode and a drain electrode is dominant, it is because mobility is influenced according to the class of gate insulating layer which is in contact with the

channel.

[0072] In addition, the cyano group of the improvement in the mobility of the organic semiconductor by using a \*\* polymer is also effective over the organic semiconductor at large on which pi conjugated system spread.

[0073] Furthermore, in such a case, certainly high mobility is obtained that the class of organic semiconductor which can be used from the relation of an energy level is restricted in many cases so that it may set in the target component structure, for example, light emitting diode.

[0074]

[Example] An outline is explained before starting explanation of the concrete example of this invention.

[0075] First, although the typical field-effect transistor structure where the combination of the organic-semiconductor ingredient used for the channel section concerning this invention and the polymer ingredient which has the cyano group used for a gate insulating layer is applied is structure shown in drawing 1, it is applicable also to the structure shown in drawing 4 from drawing 2, of course.

[0076] Also in any, it has such structures in contact with the organic-semiconductor layer of the channel section, using the insulating polymer which has a cyano group as a part of gate insulating layer or gate insulating layer.

[0077] First, through the organic-semiconductor layer 16 which is the channel section which touched the gate insulating layer 13 which contains the insulating polymer which has a cyano group with the configuration of drawing 1, the source electrode 14 and the drain electrode 15 are formed, the gate insulating layer 13 and silicon oxide 19 are compound-ized further, and it is the field-effect transistor using the silicon substrate or the metal substrate 18 as a gate [ a substrate-cum-] electrode.

[0078] Moreover, it is the component structure which has the organic-semiconductor layer 26 in contact with the gate insulating layer 23 which the source electrode 24 and the drain electrode 25 are the gate insulating layer 23 containing the insulating polymer which has the gate electrode 22 on a substrate 21, and has a cyano group on it, and on it, and ties the source electrode 24 and the drain electrode 25 with the configuration of drawing 2. Here, the conductive polymer which is in a metal condition as a gate electrode 22 for a metal electrode, an ITO electrode, and a high dope is used.

[0079] Moreover, with the configuration of drawing 3, the silicon substrate and metal which being used as this gate [ a substrate-cum-] electrode 37 at the point which is carrying out the configuration which replaced the substrate and gate electrode of drawing 2 with the gate [ a substrate-cum-] electrode 37 unlike the configuration of drawing 2 doped to high concentration are used.

[0080] Moreover, with the configuration of drawing 4, the gate electrode 42 is a component configuration above the organic-semiconductor layer 43, and it is inserted into the gate insulating layer 43 which consists of an insulating polymer with a substrate 41 and a cyano group, and the property of a component cannot be easily influenced of a controlled atmosphere, and since an organic semiconductor is not exposed, the organic-semiconductor layer 43 is having stable structure.

[0081] And with the configuration shown in drawing 3 from drawing 1, after the gate insulation stratification, although what is necessary is just to form an organic-semiconductor layer by vacuum evaporationo etc., even if a gate insulating layer is formed in the upper part of an organic-semiconductor layer like drawing 4, it can produce similarly, and improvement in mobility is shown.

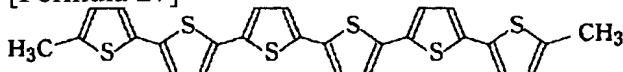
[0082] Among this, the example which produced the field-effect transistor in each following example with the configuration of drawing 1 and drawing 4 using various organic semiconductors was shown, and mobility higher than the mobility of the organic semiconductor in the field-effect transistor of the structure which made the silicon oxide of the example of a comparison the gate insulating layer was checked. Of course, it is thought that high mobility is similarly presented with other component structures.

[0083] Moreover, as an insulating polymer with a cyano group, the polyacrylonitrile or the cyano ethyl pullulan was used typically.

[0084] Moreover, the used organic semiconductors are a dimethyl sexy thiophene (DMSxT), a quarter thiophene (QtT), and a lead phthalocyanine (PbPc:C32H16N8Pb, CAS registration number 15187-16-3), and those molecular structures are shown in order from the following (\*\* 27) at (\*\* 29).

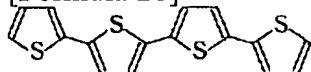
[0085]

[Formula 27]



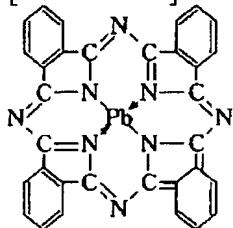
[0086]

[Formula 28]



[0087]

[Formula 29]



[0088] The hydrogen of the alpha position of both ends is the hexamer of the thiophene permuted by the methyl group, and recrystallizes the used dimethyl sexy thiophene with monochlorobenzene.

[0089] This dimethyl sexy thiophene has high mobility in about 5 figures as compared with a quarter thiophene according to the effectiveness which pi conjugated system permuted by the \*\*\*\*\* or the methyl group.

[0090] In addition, composition of a dimethyl sexy thiophene was performed by the approach of a publication to advanced MATERIARUZU (S. Hotta, KWaragai, Adv.Mater.5 volume, 896 pages (1993)).

[0091] Moreover, a quarter thiophene is the tetramer of a thiophene and the hydrogen of the alpha position of both ends is a non-permuted thing.

[0092] Since these oligo thiophenes are gradually made by the Grignard reaction, it is single polymerization degree, and there are few impurities and a single crystal is easy to be obtained.

[0093] Therefore, there is no need for the dedope which is needed for a while by the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel layer.

[0094] And the membranous quality of the vacuum evaporation film is also good, and a high order X-ray-analysis peak is accepted (journal OBU material chemistry magazine: indicate to S.Hotta, KWaragai, J.Mater.Chem., and 835 pages per volume (1991)).

[0095] therefore, the goodness of the membranous quality of such a thin film -- \*\* -- it becomes and is easy to happen migration of the carrier between the molecules which suit -- the basis is carried out.

[0096] Moreover, since a commercial item contained many impurities, such as a phthalimide, the commercial item was used for it after the lead phthalocyanine carried out two sublimation purification.

[0097] Here, although measured about the lead phthalocyanine, since they do not change a lot even if the physical properties of a phthalocyanine complex change the class of central metal, generally its mobility improves similarly about a metal phthalocyanine divalent [ other ] or univalent and the phthalocyanine which does not contain a metal.

[0098] In addition, if the polymer which has a cyano group is used as a gate insulating layer, the reason whose mobility of a channel improves will be examined.

[0099] For example, the above-mentioned Garnier etc. is raised for reasons of the specific-inductive-capacity value of epsilon= 18.5 of a cyano ethyl pullulan (refer to Patent Publication Heisei No. 508745 [ five to ]). (with 10kHz)

[0100] However, with the field-effect transistor structure using the tantalic acid-ized film with the high

specific inductive capacity shown in the below-mentioned example of a comparison ( $\epsilon=24-25$ ), it is mobility equivalent to the case on  $\text{SiO}_2$ , and the activation energy of the mobility is also equivalent to the thing on  $\text{SiO}_2$ .

[0101] Moreover, the specific inductive capacity of the polyacrylonitrile shown in the example of this invention it is  $\epsilon=4.5$  (at 10kHz and 22 degrees C) (Eugen Neagu, Mihai Leanca, Rodica Neagu, and An.Stiint.Univ." -- aluminum.I.Cuza" Iasi and Sect. -- 1b and 20 (2) -- 133 - 8 pages 1974 -- a publication -- it is -- although it receives and the specific inductive capacity of at least 5 needs in the Patent Publication Heisei No. 508745 [ five to ] official report publication, the specific inductive capacity of a polyacrylonitrile is smaller than the value, and, moreover, has caused improvement in mobility.

[0102] Therefore, the ingredient of high specific inductive capacity which Garnier etc. describes will not necessarily have led to improvement in mobility.

[0103] About the reason whose mobility of a channel will improve if the polymer which has a cyano group is now used as a gate insulating layer, it has become clear that the operation of an electric dipole which a cyano group has and which carried out localization is dominant.

[0104] (Example 1) The 1st example of this invention is hereafter explained to a detail, making a drawing reference.

[0105] In this example, the field-effect transistor using the dimethyl sexy thiophene as an organic semiconductor was produced by using a polyacrylonitrile as a gate insulating-layer ingredient.

[0106] It has the configuration which specifically used the dimethyl sexy thiophene as the golden vacuum evaporationo film and an organic-semiconductor layer 46 respectively as a polyacrylonitrile, the source electrode 44, and a drain electrode 45 in the field-effect transistor of the configuration of drawing 4 as an insulating polymer which has a cyano group in the ITO film and the gate insulating layer 43 as a glass substrate and a gate electrode 42 as a substrate 41.

[0107] The field-effect transistor which used the polyacrylonitrile for the gate insulating layer was produced as follows.

[0108] First, the washed glass substrate with the ITO (Indium Tin Oxide) film (50ohm/\*\*\*) was prepared, and on this, the spin coat of the 0.1g [/ml] dimethyl sulfoxide solution of a polyacrylonitrile (molecular weight 150,000, product made from Polyscience) was carried out by 1500rpm, and this spin coat film was dried using the dryer, and it considered as the gate insulating layer 43.

[0109] And on it, vacuum deposition of the gold was carried out and the source electrode 44 and the drain electrode 45 were formed respectively.

[0110] Moreover, each electrode of the source electrode 44, the drain electrode 45, and the gate electrode 42 was wired with a silver paste in the gold streak of 0.1mmphi, using the above-mentioned ITO film as a gate electrode 42.

[0111] Here, it is impedance analyzer Hewlett-Packard. Gate current was measured using 4194A, the gate capacitance between the source gates was broken by the electrode surface product, and it considered as the gate capacitance per unit area. And the typical value was 1 nF/cm<sup>2</sup>.

[0112] Then, the garbage was covered with aluminum foil etc., under the pressure of 2 - 4x10<sup>-6</sup>Torr, from the tungsten boat for sublimation metals separated from the vacuum evaporationo substrate 5cm, vacuum deposition of the dimethyl sexy thiophene 10mg was carried out by resistance heating, and it was used as the organic-semiconductor layer 46 so that it might be vapor-deposited by the channel part.

[0113] In this condition, the thickness near the core of a dimethyl sexy thiophene was set to 500nm.

[0114] And semi-conductor parameter analyzer 4145B of Hewlett-Packard, Keithley A 236 source major unit and programmable voltage source Keithley Each parameter of electric field effect TORAJSUTA of this example was measured using the system of measurement which controlled 617 with the personal computer.

[0115] Moreover, it can ask for mobility from following (several 2) which differentiated following (several 1) which gives the drain current ID of the linearity field of a field-effect transistor by VG to gate voltage.

[0116]

[Equation 1]

$$I_D = \mu C_0 W / L \{ (V_G - V_T) V_D - V_D^2 / 2 \}$$

[0117]

[Equation 2]

$$\Delta I_D / \Delta V_G = \mu C_0 V_D W / L$$

[0118] here -- mu -- for channel width and L, channel length and VG are [ mobility and C0 / the gate capacitance per unit area, and W / a drain electrical potential difference and VT of gate voltage and VD ] threshold electrical potential differences.

[0119] Moreover, it replaced with the dimethyl sexy thiophene, the field-effect transistor was similarly produced about the quarter thiophene and the lead phthalocyanine, and same measurement was performed.

[0120] At this time, the thing with a channel width of W= 0.01cm was produced by L= 2.4cm of channel length, and two kinds of things with a channel width of W= 0.02cm were produced by L= 0.6cm of channel length.

[0121] The operating characteristic of these field-effect transistors is shown in drawing 5 (a) - (c). All over drawing, each channel width W, channel length L, and the gate capacitance C0 per unit area were shown.

[0122] In these drawings, since the drain current is increasing when the gate voltage of minus is impressed, a dimethyl sexy thiophene, a quarter thiophene, and a lead phthalocyanine show that the semi-conductor property of p mold is shown.

[0123] And in the case of the field-effect transistor of the dimethyl sexy thiophene of drawing 5 (a), change of the drain current over gate voltage is the largest, and, moreover, the ratio of change of the drain current in VG=0V and VG=-11V is large.

[0124] As a result, the mobility of  $1.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  was obtained by the dimethyl sexy thiophene by  $2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  (it is  $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  at maximum), and was obtained by  $1.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and the lead phthalocyanine by the quarter thiophene.

[0125] These values have the large mobility of the dimethyl sexy thiophene on silicon oxide, a quarter thiophene, and a lead phthalocyanine single or more figures to being  $10^{-2}$ ,  $2 \times 10^{-7}$ , and  $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  respectively, and it turns out that the marked improvement in mobility is brought about.

[0126] As mentioned above, by using the polyacrylonitrile which is the insulating polymer which has a cyano group in a gate insulating layer in the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel layer according to this example, the field-effect transistor which has mobility higher than what used silicon oxide for the gate insulating layer can be obtained, and it is thought that the improvement in the mobility by the polymer with this cyano group is effective in a wide range organic semiconductor.

[0127] Furthermore, in order not to dissolve a polyacrylonitrile in the usual organic solvent but to only dissolve in the solvent restricted [ dimethylformamide / dimethyl sulfoxide ], it also has the advantage to which organic washing and lithography become possible after producing a polyacrylonitrile.

[0128] In addition, the mobility which made field-effect transistor structure in this way, and was measured is time. of It may differ from the mobility measured by the flight method.

[0129] Because, time of By the flight method, since a carrier is generated by optical exposure, it is unrelated to a generation of carriers where the absolute level of HOMO (highest occupied molecular orbital) of a molecule or LUMO (a minimum sky molecular orbital) is, and the energy difference of HOMO and LUMO is related to a generation of carriers.

[0130] It is because it is based on the applied voltage in the MIS (metal insulator semiconductor) structure of the organic semiconductor of a gate electrode, a gate insulating layer, and the channel section, so it is influenced by the relation of the energy level of a gate electrode, a gate insulating layer, and an organic semiconductor with field-effect transistor structure on the other hand.

[0131] For example, time of By the flight method, even when the anthracene single crystal which can

usually be measured is used, if it is made field-effect transistor structure, measurement of mobility cannot be performed.

[0132] An anthracene does not have absorption in a visible region, but this has the large energy difference of HOMO-LUMO, and since the level of HOMO is in a deep level rather than the level of HOMO of tetracene, it twists a carrier with gate applied voltage with field-effect transistor structure for induction not to be carried out, so that transparently.

[0133] Thus, the mobility for which it asked by field-effect transistor measurement is time. offlight Although it may differ from the mobility for which it asked by law, the mobility for which it asked by this example is more practical than the mobility for which can set in the field-effect transistor structure actually used as a component, and it asked in the single crystal.

[0134] (Example 2) The 2nd example of this invention is explained hereafter, making a drawing reference.

[0135] This example explains the field-effect transistor which has the compound insulating layer which consists of a polyacrylonitrile layer shown in drawing 1, and silicon film.

[0136] The field-effect transistor which specifically used the dimethyl sexy thiophene as a polyacrylonitrile and an organic-semiconductor layer 16 as a polymer layer 13 which has a cyano group was produced as follows.

[0137] First, cleavage of the silicon substrate 18 of n mold high concentration dope which the 1000A thermal oxidation film (silicon oxide) 19 attached is carried out to the magnitude which is easy to carry out a spin coat.

[0138] In addition, at this time, since the oxide film of the rear face made when growing up the thermal oxidation film was simple, the sandpaper removed, and the flow with the silicon substrate for taking out a gate electrode and a silver paste was secured.

[0139] next, the spin coat of the 0.1g [/ml] dimethyl sulfoxide solution of a polyacrylonitrile (molecular weight 150,000, product made from Polyscience) was boiled and carried out on silicon oxide by 1000 or 2000rpm.

[0140] The spin coat film was dried using the after [ a spin coat ] dryer, and it considered as the polymer layer 13 which has a cyano group.

[0141] Vacuum deposition of the golden electrode used as the source electrode 14 and a drain electrode 15 on it is carried out (channel length of L= 2.4cm, channel width of W= 0.01cm).

[0142] And after vapor-depositing a golden electrode, cleavage of the silicon substrate 18 was carried out, it fixed on the non-illustrated printed circuit board, and wiring of a gold streak was carried out using the silver paste, and the printed circuit board and the gold streak (phi0.1mm) were fixed with the epoxy adhesive so that the force might be applied to a gold streak and it might not peel.

[0143] In addition, the thin film 13 of a polyacrylonitrile separates the spin coat film 13 of a polyacrylonitrile beforehand with the cutter knife, after applying and hardening an epoxy adhesive to the end face of the spin coat film 13 of a polyacrylonitrile, and a silicon substrate 18, since adhesion with silicon oxide 19 tends to peel easily well in advance of cleavage at this time.

[0144] Moreover, it is Hewlett here. Packard 4194A impedance/gain phase Gate capacitance C0 was computed by having measured the parameter by analyzer and having broken the capacity of the capacitor of the equal circuit of good juxtaposition of coincidence by low frequency by the electrode surface product, and the gate capacitance C0 per the unit area was shown in the graph of a measurement result.

[0145] Then, it left the channel periphery and the mask was carried out with aluminum foil, vacuum deposition of the dimethyl sexy thiophene 10mg was carried out in the distance of the boat for tungsten sublimation metals to 5cm under the pressure of  $2 \times 10^{-6}$  -  $4 \times 10^{-6}$  Torr, and the oligo thiophene film which is the organic-semiconductor layer 16 of about 500nm of thickness was formed.

[0146] And it is as being shown in drawing 6, and the large mobility of 2/Vs was obtained 1cm by the result of having measured the field-effect transistor property like the example 1.

[0147] In addition, the structure which used the insulating layer as the bipolar membrane of a polymer insulating layer and silicon oxide has the following advantages.

[0148] Since the bipolar membrane of a polymer layer / silicon oxide film tends to secure the insulation of the gate, it can make thickness of a polymer layer thinner than a polymer independent insulating layer.

[0149] For this reason, this bipolar membrane tends to secure the electric capacity of the gate per unit area from a polymer independent case, and a big drain current is acquired also in the combination of the same mobility, channel length, and channel width.

[0150] (Example 3) The 3rd example of this invention is explained hereafter, making a drawing reference.

[0151] At this example, a cyano ethyl pullulan is used for a gate insulating layer, and it is the thing using the lead phthalocyanine as an organic semiconductor, and is the same as that of the making process and basic target of an example 1.

[0152] In the configuration of drawing 4, it specifically supposes that it is an insulating polymer 43 which has the ITO film and a cyano group as a glass substrate and a gate electrode 42 as a substrate 41, and a lead phthalocyanine is used as the golden vacuum evaporationo film and an organic-semiconductor layer 46 as a cyano ethyl pullulan, the source electrode 44, and a drain electrode 45.

[0153] The glass substrate with the ITO film used as the gate electrode 42 (50ohm/\*\*\*) was washed and prepared, and the spin coat of the volume mixed solvent solutions, such as a 0.2g [/ml ] acetonitrile, dimethylformamide, etc. of CYEPL (the product made from the Shin-etsu chemistry, trade name cyano resin CR-S), was carried out by 1000rpm on this.

[0154] The spin coat film was dried using the after [ a spin coat ] dryer, and it considered as the gate insulating layer 43.

[0155] And on it, vacuum deposition of the golden electrode used as the source electrode 44 and a drain electrode 45 was carried out, and it was formed.

[0156] Here, it is gate capacitance Impedance analyzer Hewlett-Packard It measured using 4194A.

[0157] Then, the garbage was covered with aluminum foil etc. and vacuum deposition of the lead phthalocyanine was carried out by resistance heating from the tungsten boat for sublimation metals under the 2 - 4x10-6Torr pressure.

[0158] Here, they could be L= 2.4cm of channel length, 0.6cm, the channel width of W= 0.01cm, or 0.02cm.

[0159] Subsequently, the field-effect transistor was produced like [ thiophene / a dimethyl sexy thiophene and / quarter ] the case of a lead phthalocyanine, and each parameter was measured like the example 1.

[0160] The measurement result of \*\*\*\*\* was as being shown in drawing 7 (a) - (c), and was [ in the dimethyl sexy thiophene ]  $3.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  in  $3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and a lead phthalocyanine at  $3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , and a quarter thiophene.

[0161] Therefore, also in this example, when the cyano ethyl pullulan which has a cyano group was used for the gate insulating layer, the field-effect transistor whose mobility of an organic semiconductor improved by things was able to be obtained.

[0162] (Example 4) The 4th example of this invention is explained hereafter, making a drawing reference.

[0163] In this example, the cascade screen of a cyano ethyl pullulan and silicon oxide was used as a gate insulating layer.

[0164] Specifically in drawing 1, it is the same as that of the making process and basic target of an example 2 as an insulating polymer layer 13 which has a cyano group, using a dimethyl sexy thiophene as a cyano ethyl pullulan and an organic-semiconductor layer 16.

[0165] Here, in order to secure sufficient insulation of a gate insulating layer, on the thermal oxidation film on the silicon substrate 18 of n mold high concentration dope (silicon oxide : 104.6nm in thickness), the spin coat of the CYEPL solution of volume mixed solvents, such as an acetonitrile, was carried out to dimethylformamide (2g / 10ml) by 1000rpm, and the spin coat film was dried with the dryer and it considered as the insulating layer 13.

[0166] In this example, the insulating layer 13 which is the CYEPL spin coat film has good adhesion

with silicon oxide.

[0167] Also in this example, each parameter of a field-effect transistor is measured similarly, and the result is shown in drawing 8. And the called-for mobility is  $9 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , and had the high value.

[0168] In addition, the measurement result of the mobility of the above example was summarized in the following (table 1).

[0169]

[A table 1]

ゲート絶縁層	ジメチルセクシチオフェンの移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	クオータチオフェンの移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	鉛フタロシアニンの移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )
$\text{SiO}_2$	$10^{-2}$	$2 \times 10^{-7}$	$10^{-5}$
ポリアクリロニトリル	2	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-4}$
シアノエチルブルラン	3	$3 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-3}$
ポリアクリロニトリル/ $\text{SiO}_2$	1	未測定	未測定
シアノエチルブルラン/ $\text{SiO}_2$	$7 \times 10^{-2}$	未測定	未測定

[0170] (Example 1 of a comparison) In this example of a comparison, the field-effect transistor which used silicon oxide for the gate insulating layer was produced as follows. On n mold silicon substrate ( $\rho = 0.01\text{-ohmcm}$ ), the oxide film (270nm in thickness) was formed, on it, chromium (15nm in thickness) and gold (150nm in thickness) were vapor-deposited serially, and the source and a drain electrode were formed.

[0171] Here, it considered as the channel length of  $L = 4$  micrometers, and the channel width of  $W = 1.5\text{mm}$ , and was gate capacitance  $C_0 = 12 \text{ nF/cm}^2$ .

[0172] Subsequently, after mounting a wafer on an after [ cleavage ] ceramic package, it wired by the ball bonder, and vacuum deposition of the dimethyl sexy thiophene was carried out by resistance heating from the tungsten boat for sublimation metals under the  $2 - 4 \times 10^{-6}\text{Torr}$  pressure after that.

[0173] The typical thickness near the core when setting distance of a boat and a vacuum evaporationo substrate to about 5cm, and flying 10mg of sources of vacuum evaporationo at this time, was 500nm.

[0174] Subsequently, when a quarter thiophene and a lead phthalocyanine were used for an organic semiconductor, even if it attached, the field-effect transistor was produced similarly.

[0175] Moreover, measurement of each parameter of a field-effect transistor was performed like the above-mentioned example.

[0176] Although only the measurement result in a lead phthalocyanine was shown in drawing 9, the result was as low at  $2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and a lead phthalocyanine a value as  $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  in  $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and a quarter thiophene at the dimethyl sexy thiophene, as shown in (a table 1).

[0177] (Example 2 of a comparison) Further, in order [ with this invention ] to compare, the field-effect transistor of a gate insulating layer which consists of  $2\text{O}_5/\text{SiO}_2$  of Ta bipolar membrane was produced using the tantalic acid-ized film Ta  $2\text{O}_5$  which has specific inductive capacity ( $\epsilon = 24-25$ ) higher than CYEPL.

[0178] Here, in order to secure sufficient insulation of a gate insulating layer, on the thermal oxidation film (104.6nm in thickness) of the silicon on n mold silicon substrate, the tantalic acid-ized film was produced by the spatter in thickness of 201.0nm, and the source and a drain electrode were produced on it (channel length of  $L = 0.1\text{mm}$ , channel width of  $W = 24\text{mm}$ ).

[0179] Moreover, the electric capacity per unit area of  $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$  bipolar membrane ( $16.7 \text{ nF/cm}^2$ ) was well in agreement with the value calculated as serial electric capacity of the electric capacity of the tantalic acid-ized film, and the electric capacity of silicon oxide.

[0180] And using a dimethyl KUINKE thiophene (pentamer of a thiophene which permuted the hydrogen of the alpha position of both ends by the methyl group) as an organic semiconductor of a channel layer, the film was produced with vacuum deposition from the tungsten boat, and the field-

effect transistor was produced.

[0181] Measurement of each parameter of a field-effect transistor is the same as that of the above-mentioned example. Although the result was shown in drawing 10, the mobility on Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / SiO<sub>2</sub> bipolar membrane is  $1.8 \times 10^{-3}$  cm<sup>2</sup>/Vs, and became a case on silicon oxide, and a value without great difference.

[0182] Moreover, the measured value of activation energy was also set to the same 0.17eV as the case on silicon oxide.

[0183] Thus, the fact that the mobility of an oligo thiophene is not influenced even if it uses the tantalic acid-sized film of a high dielectric constant shows that the factor of the improvement in mobility is not the specific inductive capacity of a gate insulating layer.

[0184] When the artificer considered this cause, it became clear that the improvement in this mobility has the dominant operation of an electric dipole which a cyano group has and which carried out localization.

[0185] Moreover, even if it distributes the organic compound which has a cyano group in other polymers, it is expectable that the same effectiveness is shown by work of the electric dipole contained in it.

[0186]

[Effect of the Invention] As mentioned above, in the field-effect transistor which used the organic semiconductor for the channel section, by using the insulating polymer which has a cyano group in a gate insulating layer, the mobility in an organic-semiconductor thin film can be raised, and a drain current can be increased as the result in this invention.

[0187] furthermore, the combination of a dimethyl sexy thiophene and a polyacrylonitrile -- max -- 4cm<sup>2</sup> / Vs thing -- high mobility is also realizable.

[0188] therefore, the field-effect transistor structure which used the organic semiconductor for the channel layer -- setting -- an amorphous silicon and an EQC -- or an aperture and its effectiveness are large in the way which can say that the mobility of the carrier beyond it was realizable, and can use various organic semiconductors for a field-effect transistor.

---

[Translation done.]

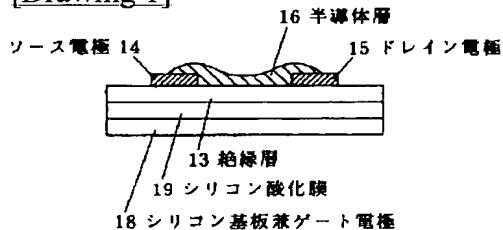
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

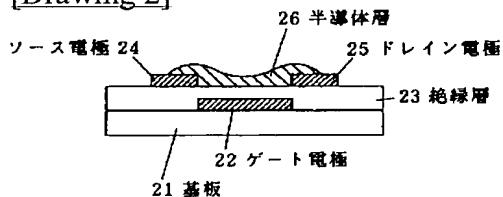
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

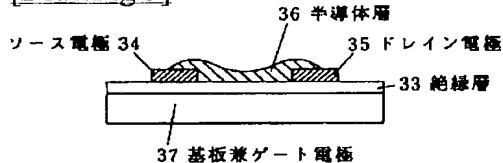
## [Drawing 1]



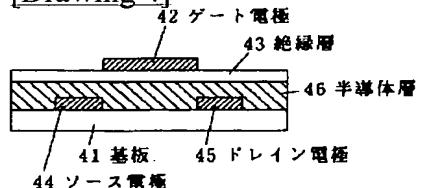
## [Drawing 2]



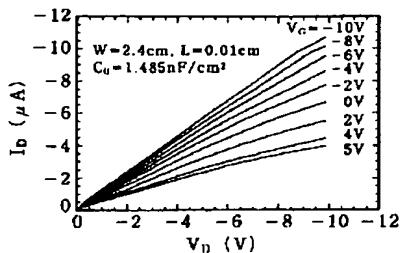
## [Drawing 3]



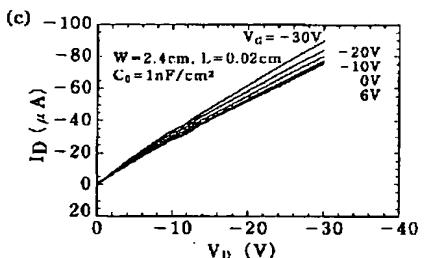
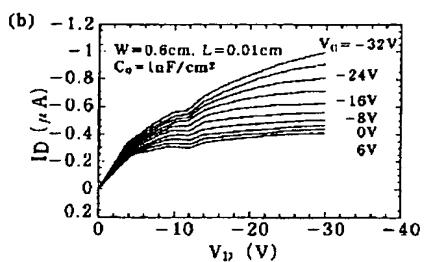
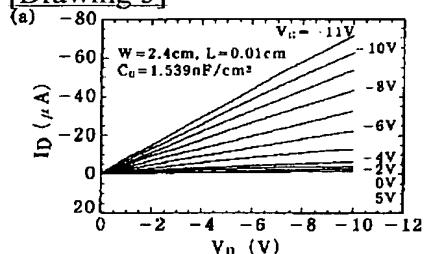
## [Drawing 4]



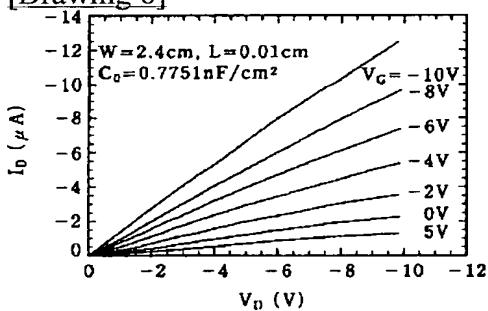
## [Drawing 8]



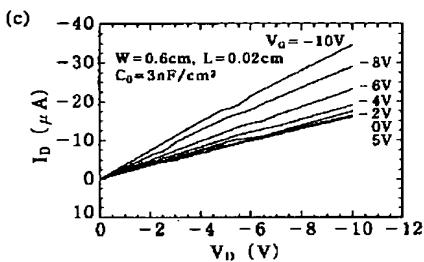
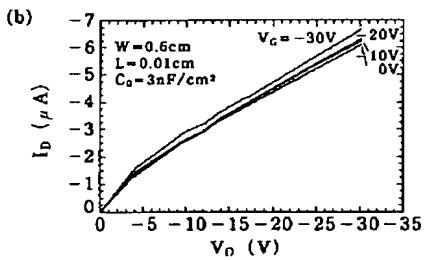
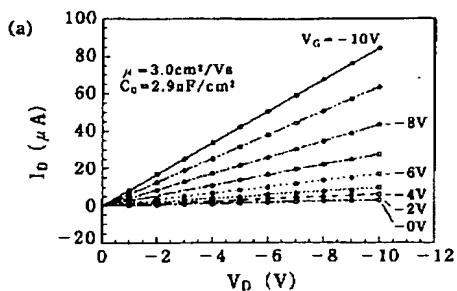
[Drawing 5]



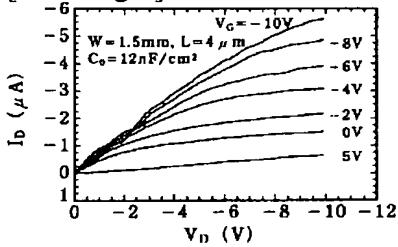
[Drawing 6]



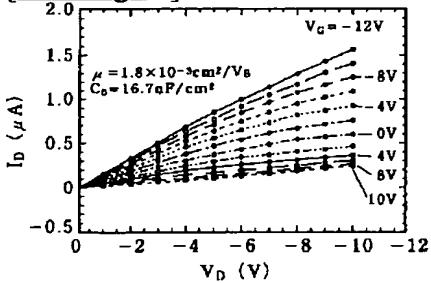
[Drawing 7]



[Drawing 9]



[Drawing 10]




---

[Translation done.]